

**PEMODELAN *SHIELDING* BERBAHAN PARAFIN DAN ALUMINIUM
UNTUK FASILITAS BNCT MENGGUNAKAN SIMULATOR MCNP**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar
Sarjana Sains**



Oleh

**AFIFAH HANA TSURAYYA
13306144007**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2017**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul **“Pemodelan *Shielding* Berbahan Parafin dan Aluminium untuk Fasilitas BNCT Menggunakan Simulator MCNP”** yang disusun oleh Afifah Hana Tsurayya, NIM 13306144007 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Disetujui pada tanggal:

13 Juli 2017

Yogyakarta, 13 Juli 2017

Menyetujui

Pembimbing I



Ir. Gede Sutresna W., M.Eng
NIP. 19650130 199003 1 003

Pembimbing II



R. Yosi Aprian Sari, M.Si
NIP. 19730407 200604 1 001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul **“Pemodelan *Shielding* Berbahan Parafin dan Aluminium untuk Fasilitas BNCT Menggunakan Simulator MCNP”** yang disusun oleh Afifah Hana Tsurayya, NIM (13306144007) ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 3/17 dan dinyatakan **LULUS**.

Susunan Dewan Penguji				
Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal	
1. Ir Gede Sutresna W., M.Eng	Ketua Penguji		18 Agustus 2017	
2. R. Yosi Aprian Sari, M.Si	Sekretaris Penguji		16 Agustus 2017	
3. Dr.Eng Rida Siti Nur'aini Mahmudah	Penguji I		16 Agustus 2017	

Yogyakarta, 21 Agustus 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

SKRIPSI

PEMODELAN *SHIELDING* BERBAHAN PARAFIN DAN ALUMINIUM UNTUK FASILITAS BNCT MENGGUNAKAN SIMULATOR MCNP

Oleh:

Afifah Hana Tsurayya

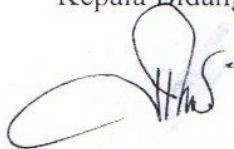
NIM 13306144007

Telah Disetujui dan Disahkan

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA BATAN) Yogyakarta

Pada Tanggal : 31 Agustus 2017

Kepala Bidang K3



Dra. Elisabeth Supriyatni, M.App.Sc

NIP. 19591029 198303 2 001

Pembimbing di PSTA BATAN




Ir. Gede Sutresna, M.Eng

NIP. 19650130 199003 1 003

Menyetujui



Kepala PSTA BATAN



Dr. Susilo Widodo

NIP. 19580414 198003 1 005

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

nama : Afifah Hana Tsurayya

NIM : 13306144007

program studi : Fisika

fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

judul skripsi : Pemodelan *Shielding* Berbahan Parafin dan Aluminium

untuk Fasilitas BNCT Menggunakan Simulator MCNP

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali sebagai kutipan dengan mengikuti pedoman tata tulisan karya ilmiah yang telah lazim. Adapun semua kutipan di dalam skripsi ini telah saya sertakan nama pembuat/penulisnya dan telah saya cantumkan ke dalam daftar pustaka. Apabila pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 26 Juli 2017

Yang Menyatakan



Afifah Hana Tsurayya

NIM 13306144007

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Berkata Musa: “Ya Tuhanku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuanku dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku.”
(QS. Taha:25—28)

“Musa berkata, “Tuhan kami ialah (Tuhan) yang telah memberikan kepada tiap-tiap sesuatu bentuk kejadiannya, kemudian memberinya petunjuk”
(QS. Taha:50)

“Ya Allah, sesungguhnya aku memohon pada-Mu ilmu yang bermanfaat, rezeki yang baik, dan amal yang diterima.”
(HR. Ibnu Majah)

“Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali yang Engkau buat mudah. Dan Engkau menjadikan kesedihan (kesulitan), jika Engkau kehendaki pasti akan menjadi mudah.”
(HR. Ibnu Hibban)

. . .

“Harus selalu konsisten dalam menekuni suatu disiplin ilmu yang Anda pelajari. Karena dengan konsisten, anda bisa seperti saya.”
(B. J. Habibie)

The world is not worth even the wing of the mosquito.

The world is insignificance, it is small.

Karya tulis ini saya persembahkan untuk...
kedua orang tua, saudara, dan seluruh keluarga besar atas doa dan dukungannya, untuk para guru dan dosen saya, dan untuk para sahabat yang tengah berjuang menuntut ilmu.

PEMODELAN *SHIELDING* BERBAHAN PARAFIN DAN ALUMINIUM UNTUK FASILITAS BNCT MENGGUNAKAN SIMULATOR MCNP

Oleh

Afifah Hana Tsurayya

(13306144007)

Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui laju dosis radiasi setelah melewati *shielding* berbahan parafin dan aluminium dan mengetahui material *shielding* yang tepat untuk keselamatan pekerja radiasi.

Penelitian ini menggunakan simulator MCNP (Monte Carlo N-Particle) untuk memodelkan sumber neutron BNCT dan *shielding*. Desain *shielding* harus dapat menahan radiasi hingga batas laju dosis maksimal sebesar 10,42 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ dengan asumsi nilai tersebut merupakan batasan yang paling konservatif, yakni dengan lama waktu pekerja 1920 jam dalam satu tahun. Desain awal menghasilkan laju dosis yang masih di atas batas maksimal, maka dari itu dilakukan optimasi dengan menambahkan timbal pada bagian terluar *shielding*.

Hasil yang diperoleh setelah optimasi adalah laju dosis telah menurun setelah diberi lapisan timbal dengan ketebalan tertentu. Beberapa lokasi yang masih di atas 10,42 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ diatasi dengan aspek proteksi radiasi yang lain, yaitu jarak dan waktu. Parafin diberi aluminium sebagai *casing* yang bertujuan untuk memperkuat struktur *shielding*. Timbal ditambahkan untuk menyerap radiasi gamma akibat neutron yang berinteraksi dengan aluminium.

Kata kunci: *shielding*, parafin, aluminium, BNCT, MCNP

A CONCEPTUAL SHIELDING DESIGN USING PARAFFIN AND ALUMINIUM FOR BNCT FACILITY BY MCNP SIMULATOR

By

Afifah Hana Tsurayya

(13306144007)

Abstract

The research aims to measure the radiation dose rate over the shielding which is made of paraffin and aluminium and to know the right shielding material for safety of radiation workers.

The examination used MCNP (Monte Carlo N-Particle) simulator to model the BNCT neutron source and the shielding. The shielding should reduce radiation to less than the dose limit of 10.42 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$, which is assumed to be the most conservative limit, i.e. while duration of workers is 1920 hours. The first design resulted the radiation dose rate which was still bigger than the limit. Therefore, optimization was done by adding the lead on the outer of the shielding.

After optimization by adding the leads with certain layer, the radiation dose rate were decreasing. Some locations over the limit could be overcome by the other radiation protection aspect, i.e. distance and time. The paraffin blocks were covered by aluminium to keep the shielding structure. The lead was used to absorb the gamma ray which were resulted by the interaction between neutron with aluminium.

Key words: shielding, paraffin, aluminium, BNCT, MCNP

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas rahmat-Nya yang senantiasa dicurahkan kepada Penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi yang berjudul **“Pemodelan *Shielding* Berbahan Parafin dan Aluminium untuk Fasilitas BNCT Menggunakan Simulator MCNP.”** Sepanjang proses penyelesaian tugas akhir skripsi ini, Allah mempertemukan Penulis dari berbagai pihak yang membantu dan memotivasi Penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak berikut.

1. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Prodi Fisika
2. Kepala PSTA BATAN, Bapak Dr. Susilo Widodo, atas izin yang diberikan untuk melaksanakan penelitian di BATAN.
3. Bapak Ir. Gede Sutresna Wijaya, M.Eng dan Bapak R. Yosi Aprian Sari, M.Si selaku pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan dan arahnya.
4. Ibu Dr. Eng Rida Siti Nur'aini Mahmudah selaku penguji atas berbagai saran untuk perbaikan skripsi ini.
5. Ibu Laila Katriani, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Dosen-dosen jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan pendidikan kepada penulis selama berkuliah.
7. Rekan-rekan Prodi Fisika dan Pendidikan Fisika angkatan 2013 yang telah kebersamai selama empat tahun.

8. Rekan-rekan KBK Nuklir 2013, Nanda, Nuki, Doni, dan Farizal, serta adik-adik KBK Nuklir 2014, yang telah menemani dalam mengerjakan penelitian.
9. Pemandu Penulis dalam mengerjakan penelitian dan menerjemahkan jurnal, Bapak Ir. Andang Widiharto, Bapak Ir. Karsono, Bapak Suparno, Ph.D, Bapak Muhammad Yusuf, M.Sc, Bapak Rasito, S.Si, Mbak Rosi, Mbak Yuni, Mbak Aniti, Mbak Norma, Mbak Sinta, Mbak Sita, Mas Buyung, Mas Arief, dan Mas Made.
10. Keluarga besar UKMF HASKA JMF, Pengurus Tutorial FMIPA UNY, dan UKM Bulu Tangkis UNY.
11. Sahabat penulis yang dipertemukan pada program KKN, Sukma, Denis, Luky, Rahayu, Iin, Anggit, Aldo, Agung, dan Farid.
12. Keluarga Penulis selama di Yogyakarta, Zahroh Utami, Nur Evi Kartika Damayanti, dan Iin Astari.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan tugas akhir skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang fisika nuklir. Terima kasih.

Yogyakarta, 26 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
G. Definisi Operasional	7

BAB II. DASAR TEORI	8
A. BNCT (<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>)	8
B. Reaktor Kartini	9
C. Perisai Radiasi	10
D. Interaksi Neutron dengan Materi	13
E. Tampang Lintang Neutron	14
F. Interaksi Foton dengan Materi	16
1. Efek Fotolistrik	17
2. Hamburan Compton	18
3. Produksi Pasangan	19
G. MCNP (Monte Carlo N-Particle)	20
BAB III. METODE PENELITIAN	21
A. Waktu dan Tempat Penelitian	21
B. Instrumen Penelitian	21
1. Perangkat Keras	21
2. Perangkat Lunak	21
C. Studi Pustaka	22
D. Variabel penelitian	22
E. Alur Penelitian	23
F. Penggunaan MCNP	24
1. Input MCNP	24
a. <i>Cell Card</i>	24
b. <i>Surface Card</i>	24

c. <i>Data Card</i>	24
2. Normalisasi	26
3. Pengukuran Laju Dosis pada MCNP	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
A. Pemodelan Sumber	27
B. Pemodelan <i>Shielding</i>	28
1. Parafin.....	30
2. Aluminium.....	30
3. Timbal	31
C. Pengukuran Laju Dosis	32
D. Hasil Penelitian	33
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	37
A. Kesimpulan	37
B. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN –LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Parameter yang Direkomendasikan IAEA	9
Tabel 2. Deskripsi Parameter Input pada <i>Cell Card</i>	25
Tabel 3. <i>Surface Card</i> pada MCNP	25
Tabel 4. <i>Tally</i> pada MCNP	26
Tabel 5. Nilai Keluaran Kolimator BNCT Ranti Warfi (2015)	29
Tabel 6. Laju Dosis pada Tiap Permukaan <i>Shielding</i>	36

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Neutron Menumbuk Target	14
Gambar 2. Peristiwa Efek Compton	19
Gambar 3. Peristiwa <i>Pair Production</i>	20
Gambar 4. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian	24
Gambar 5. Pemodelan Reaktor Kartini	28
Gambar 6. Desain Kolimator Kolom Termal	29
Gambar 7. Grafik Penurunan Laju Dosis terhadap Ketebalan Bahan	30
Gambar 8. Formasi <i>Shielding</i> Tampak Atas	32
Gambar 9. Formasi <i>Shielding</i> Tampak Samping	33
Gambar 10. Irisan Parafin yang Diberi <i>Casing</i> Aluminium	33
Gambar 11. Desain <i>Shielding</i> BATAN	35
Gambar 12. Permukaan <i>Soft Tissue</i>	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Perhitungan Laju Dosis Serap Neutron pada Bahan	43
Lampiran 2. Faktor Bobot Radiasi	44
Lampiran 3. Data Koefisien Kerma	45
Lampiran 4. Kode Material	47
Lampiran 5. <i>Input</i> MCNP	51

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang Romawi

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
h	konstanta Planck	$4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$
N	densitas atom	atom.cm^{-3}
i	intensitas	$\text{n.cm}^{-3}.\text{s}^{-1}$
X	tebal bahan	cm
E	energi	cm.s^{-1}
ν	frekuensi radiasi	s^{-1}
c	kecepatan cahaya	$3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$
Φ	Fluks	$\text{n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
σ	<i>cross section</i> mikroskopik	barn (10^{-24} cm^2)
Σ	<i>cross section</i> makroskopik	cm^{-1}
\dot{D}	Laju dosis serap	Gy.s^{-1}

Lambang Yunani

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
σ	<i>cross section</i> mikroskopik	barn (10^{-24} cm^2)
Σ	<i>cross section</i> makroskopik	cm^{-1}
λ	panjang gelombang	cm
μ	koefisien atenuasi gamma	cm^{-1}
γ	radiasi gamma	-
α	radiasi alfa	-
β	radiasi beta	-

Singkatan

WHO	<i>World Health Organization</i>
BNCT	<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>

LET	<i>Linear Energy Transfer</i>
BNCT	<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>
TRIGA	<i>Training, Research, Isotope, General Research</i>
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
BAPETEN	Badan Pengawas Tenaga Nuklir
MCNP	Monte Carlo N-Particle
MCNPX	Monte Carlo N-Particle <i>Extended</i>
VISED	<i>Visual Editor</i>
BATAN	Badan Tenaga Nuklir Nasional
PSTA	Pusat Sains dan Teknologi Akselerator

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kanker atau tumor ganas adalah pembentukan secara cepat sel-sel abnormal yang tumbuh melampaui batas kemudian menyerang bagian tubuh dan menyebar ke organ lain. Berdasarkan website resmi *World Health Organization* (WHO), pada tahun 2015 tercatat kematian sebanyak 8,8 juta: kanker paru-paru 1,69 juta, kanker hati 788.000, kanker kolon dan rektum 774.000, kanker perut 754.000, dan kanker payudara 571.000 (WHO Media Centre, 2017).

Prinsip pengobatan kanker yang berkembang saat ini adalah metode kemoterapi, radiasi, dan pembedahan (Benjamin, 2014). Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, aplikasi dari nuklir telah berkembang pesat. Salah satu aplikasinya di bidang kesehatan atau medis adalah telah dikembangkannya *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT). BNCT merupakan teknologi penyembuhan kanker yang memiliki tingkat selektivitas tinggi dalam menghancurkan kanker, sehingga peluang mengenai jaringan sehat sangat kecil atau tidak sama sekali (Masoudi, dkk, 2017).

BNCT adalah sebuah teknologi dalam pengobatan kanker berbasis target yang dapat membunuh sel kanker. Kelebihan BNCT adalah dapat berkurangnya paparan radiasi pada jaringan normal secara serempak, sehingga tidak mengenai jaringan normal. Dasar dari BNCT adalah penggunaan fluks neutron epitermal dengan rentang energi 0,5 eV—10 keV (Guan, dkk, 2016). Teknik BNCT

memanfaatkan nuklida yang tidak radioaktif, Boron (^{10}B) untuk menangkap neutron termal melalui reaksi inti $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$. Hasil dari reaksi ini memiliki karakteristik *Linear Energy Transfer* (LET) yang tinggi. Energi untuk partikel α sekitar $150 \text{ keV}\mu\text{m}^{-1}$ dan untuk ion ^7Li sekitar $175 \text{ keV}\mu\text{m}^{-1}$. Partikel ini memiliki jangkauan yang berada pada jarak 4,5-10 μm sehingga energi terdeplesi terbatas pada jarak sebesar diameter sel tunggal (Moss, 2014).

Saat ini BNCT telah menarik perhatian para ilmuwan untuk mempelajari dan mengaplikasikan teknik ini di bidang pengobatan kanker, terutama kanker otak dan kulit. BNCT dapat dioperasikan pada fasilitas yang dilengkapi reaktor nuklir atau pada rumah sakit yang telah dibangun sumber neutron alternatif. Negara yang telah memiliki reaktor yang dimodifikasi untuk BNCT antara lain Jepang, Amerika, Finlandia, Argentina, dan Taiwan (Heydari dan Ahmadi, 2015). Selain reaktor, sumber neutron untuk BNCT juga dapat dihasilkan dari siklotron (Kreiner, dkk, 2014) maupun generator neutron (Masoudi, dkk, 2017).

Shaaban dan Albarhoum (2015) telah melakukan penelitian fluks neutron BNCT dengan reaktor MNSR berdaya 30 kW dengan jumlah partikel neutron $2,53 \times 10^{15} \text{ n/s}$ dan menghasilkan fluks epitermal sebesar $2,83 \times 10^8 \text{ n/cm}^2\text{s}$. Mokhtari, dkk (2016) telah melakukan penelitian BNCT pada LPMR (*Low Power Medical Reactor*) yang menggunakan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Penelitian yang dilakukan adalah untuk meningkatkan fluks epitermal dengan melakukan optimasi pada pengayaan bahan bakar, ukuran *beam*, moderator neutron cepat, reflektor pada kolimator, dan filter neutron termal dan foton. Hasil penelitiannya berhasil meningkatkan fluks epitermal menjadi $1,01 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$, 22,14% kali tinggi dari

sebelumnya. Kasesaz, dkk (2014) telah mendesain BSA (*Beam Neutron Assembly*) pada kolom termal reaktor riset Tehran dan menghasilkan fluks epitermal $0,65 \times 10^9$ n/cm²s.

Penelitian BNCT di Indonesia dilakukan di reaktor Kartini yang terletak di Yogyakarta, dengan metode uji *in vitro* dan *in vivo*. Reaktor Kartini merupakan reaktor jenis TRIGA MARK-II dengan daya termal sebesar 100 kW yang dilengkapi berbagai fasilitas untuk penelitian BNCT metode *in vivo* dan *in vitro* (Warfi, 2015). Salah satu fasilitas pendukung reaktor Kartini adalah kolimator untuk menghasilkan fluks neutron yang sesuai standar IAEA (*International Atomic Energy Agency*) untuk BNCT, yaitu $1,0 \times 10^9$ n/cm²s (Sauerwein dan Moss, 2009). Penelitian mengenai desain kolimator telah dilakukan oleh Ranti Warfi (2015) yang merupakan hasil optimasi dari desain kolimator Nina Fauziah (2013). Kolimator ini yang dirancang untuk kolom termal reaktor Kartini dan telah menghasilkan fluks epitermal sebesar $1,13 \times 10^9$ n/cm²s.

Fasilitas yang memerankan nuklir harus diperhatikan karakteristik radiasi yang ditimbulkan dan diperlukan pemantauan rutin. Hal ini terkait dengan proteksi radiasi terhadap para pekerja nuklir dan makhluk hidup di sekitarnya, terutama manusia. Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) Nomor 4 Tahun 2013 menyebutkan bahwa nilai batas dosis efektif rata-rata pekerja radiasi, termasuk kulit sebesar 20 mSv pertahun dalam periode lima tahun, sehingga dosis yang terakumulasi selama lima tahun tidak boleh melebihi 100 mSv, dan dalam satu tahun tertentu tidak boleh melebihi 50 mSv (BAPETEN, 2013).

Fasilitas BNCT sama halnya dengan fasilitas instalasi nuklir lainnya yang memerlukan pengawasan terhadap radiasi yang dihasilkannya. Dalam meminimalkan paparan radiasi agar sesuai ketentuan BAPETEN diperlukan sistem proteksi radiasi pada fasilitas BNCT. Salah satu upaya untuk mengurangi paparan radiasi tersebut adalah dengan penambahan material *shielding* (perisai).

Dijulio, dkk (2017) telah melakukan penelitian peningkatan kemampuan *shielding* beton (*concrete*) dalam menyerap neutron dengan menambahkan atom hidrogen dalam bentuk *polyethylene* dan B_4C . Beton modifikasi ini memiliki densitas massa 15% lebih rendah dan 50% lebih kuat dari beton standar. Beton modifikasi ini menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam kemampuan memoderasi neutron dengan energi dalam rentang MeV, yakni dapat menurunkan neutron hingga 40% dari beton standar.

Buyung E. Prabowo (2015) telah melakukan penelitian desain perisai radiasi untuk fasilitas BNCT uji *in vitro* menggunakan simulasi Monte Carlo N-Particle *Extended* (MCNPX). Material perisai yang digunakan adalah parafin yang digunakan untuk *shielding* radiasi neutron, dan timbal yang digunakan untuk *shielding* radiasi gamma. Kekuatan *shielding* harus diperhatikan saat diaplikasikan pada kondisi nyata. *Shielding* parafin mudah berubah bentuk meski pada suhu ruangan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam mendesain *shielding* di reaktor Kartini yang digunakan sebagai penelitian BNCT.

BATAN telah merancang desain *shielding* berbahan parafin yang tiap bloknnya diberi aluminium setebal 3 mm. Tujuan pemberian aluminium adalah untuk menjaga struktur parafin tetap utuh sehingga tidak berubah bentuk ketika

disusun menjadi *shielding*. Aluminium sering dimanfaatkan dalam aplikasi struktur bangunan karena sifatnya yang tahan korosi. Aluminium juga memiliki sifat mudah dibentuk, termasuk dalam bentuk kurva atau lengkungan (Mazzolani, 2012). Aluminium memiliki sifat yang kuat dan tahan korosi karena terdapat bentukan lapisan oksida pada permukaannya (Pokhmurskii, dkk, 2011).

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan *software* MCNP dengan seri *extended*. MCNP adalah suatu *computer code* yang memiliki kemampuan untuk menyimulasikan probabilitas neutron, foton, dan elektron secara stokastik mulai dari pertama diproduksi hingga hilang, termasuk saat mengalami serapan, reaksi fisi, dan hamburan saat berinteraksi dengan materi (Xoubi, 2016). Dengan kemampuan MCNP tersebut, maka penelitian ini dapat disimulasikan karena berkaitan dengan interaksi radiasi terhadap material *shielding*. Penelitian ini melanjutkan *program code* dari reaktor dan kolimator yang telah dibuat Ranti Warfi (2015) dengan menambahkan *shielding*. Alasan menggunakan kolimator tersebut karena keluaran yang dihasilkan telah memenuhi semua persyaratan IAEA.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Peraturan BAPETEN yang menyebutkan bahwa batas dosis efektif minimal yang diterima pekerja adalah 20 mSv.
2. Telah terdapat desain *shielding* BATAN yang berbahan parafin dan aluminium.

3. Perlunya pengukuran dosis radiasi untuk menguji kemampuan *shielding* yang telah dirancang tersebut.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi permasalahan sebagai berikut.

1. Desain dan material *shielding* yang digunakan menyesuaikan dengan desain rancangan BATAN.
2. Batasan dosis radiasi berdasarkan standar BAPETEN, yakni 20 mSv dalam satu tahun.
3. Material dianggap ideal, yaitu dengan densitas dianggap merata di setiap bagian material tertentu, serta data unsur mengikuti *database* pada MCNP.
4. Kondisi reaktor diasumsikan pada kondisi ideal, yaitu daya reaktor dianggap konstan.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah, maka dapat rumusan masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana dosis radiasi setelah melewati *shielding* tersebut?
2. Bagaimana desain *shielding* reaktor Kartini untuk fasilitas BNCT?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui laju dosis radiasi yang terukur setelah melewati *shielding*.
2. Mengetahui material *shielding* yang tepat untuk keselamatan pekerja radiasi

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju dosis radasi di area kolom termal reaktor Kartini yang digunakan untuk penelitian BCNT. Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai BNCT dalam hal proteksi radiasi.

G. Definisi Operasional

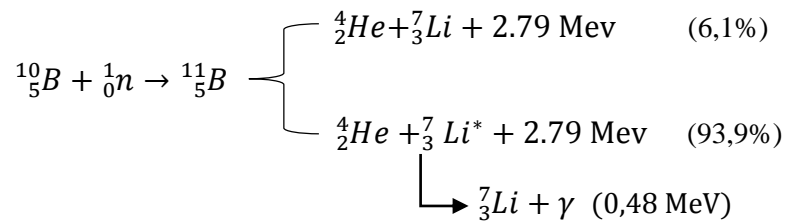
1. Uji *in vitro* adalah pengujian dengan mereaksikan bagian organ yang diuji dengan radioisotop secara langsung, sedangkan uji *in vivo* adalah pengujian pada tubuh hewan uji coba secara utuh (mpkb.org).
2. Kolom termal adalah salah satu fasilitas iradiasi termal dengan ukuran (1,2×1,2×1,6) meter, yang terletak di luar teras arah radial menembus *biological shielding* (Sardjono dan Widarto, 2007).
3. Moderasi neutron adalah usaha untuk menurunkan energi neutron (Iverson, 2016).
4. Dosis serap (Gy) adalah intensitas energi yang terdeplesi pada sejumlah jaringan yang terletak di bagian mana pun dari tubuh. Dosis ekivalen (Sv) menyatakan efek dari tiap jenis radiasi yang mengenai jaringan. Dosis efektif (Sv) adalah jumlah dosis ekivalen yang telah dikalikan dengan faktor bobot tiap organnya. (Mattsson dan Soderberg, 2013)
5. *Shielding* (perisai) radiasi adalah material yang diletakkan antara sumber radiasi dengan sekelompok orang dengan tujuan melemahkan radiasi tersebut hingga batas tertentu (Mensah, dkk, 2012).

BAB II

DASAR TEORI

A. *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) adalah bentuk terapi radiasi yang menggunakan nuklida nonradioaktif, boron-10 untuk menangkap neutron termal sehingga menghasilkan reaksi nuklir $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$. Reaksi ini menghasilkan produk dengan karakteristik transfer energi linear yang tinggi, yakni partikel alfa mendekati $150 \text{ keV}\mu\text{m}^{-1}$ dan inti ^7Li mendekati $175 \text{ keV}\mu\text{m}^{-1}$. Panjang lintasan partikel berada pada range $4,5 \mu\text{m}$ hingga $10 \mu\text{m}$. Oleh karena itu, reaksi ini menghasilkan energi deposisi yang terbatas untuk diameter sel tunggal sehingga peluang mengenai sel sehat di sekitarnya sangat kecil atau nol. Reaksi tangkapan neutron oleh boron dijelaskan berikut.



(Sauerwein dan Moss, 2009).

Fasilitas BNCT harus cukup dan memadai untuk menghasilkan neutron melalui beamport. Neutron dan gamma dipancarkan dari reaktor dan dimoderasi, difilter, dan atau diatenuasi, hingga mencapai intensitas yang dibutuhkan. Neutron epitermal dengan energi antara $0,5 \text{ eV}$ hingga 10 keV digunakan dalam banyak jenis

kanker. Karakteristik neutron dan gamma yang direkomendasikan IAEA ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter yang direkomendasikan IAEA (Sauerwein dan Moss, 2009)

Parameter	Satuan	Rekomendasi IAEA
Intensitas fluks neutron epitermal (ϕ_{epi})	(n/cm ² s)	$>1,0 \times 10^9$
Dosis neutron cepat per fluks neutron epitermal (D_r/ϕ_{epi})	Gy-cm ² /n	$< 2,0 \times 10^{-13}$
Dosis gamma per fluks neutron epitermal (D_γ/ϕ_{epi})	Gy-cm ² /n	$< 2,0 \times 10^{-13}$
Rasio antara fluks neutron termal dan epitermal (ϕ_{th}/ϕ_{epi})	-	$< 0,05$
Rasio antara arus neutron dan fluks neutron epitermal (J/ϕ_{epi})	-	$>0,7$

(Sauerwein dan Moss, 2009)

B. Reaktor Kartini

Reaktor Kartini merupakan salah satu fasilitas yang dimiliki pusat penelitian bahan murni dan instrumentasi (PPBMI)—BATAN Yogyakarta yang didesain untuk penelitian, latihan, dan pendidikan. Reaktor Kartini merupakan tipe reaktor kolam yang memiliki daya 100 kwatt. Reaktor kolam adalah reaktor dengan elemen-elemen bahan bakar dan teras berada pada dasar tangki yang berisi air. Kelebihan dari desain reaktor kolam adalah lebih sederhana dan mudah dalam perawatan. Reaktor Kartini menggunakan atom fisil berupa U²³⁵ dan neutron yang menyebabkan reaksi pembelahan adalah neutron termal.

Tangki reaktor Kartini terbuat dari aluminium murni setebal 6 mm berbentuk silinder berdiameter 200 cm dan tinggi 600 cm. Tangki reaktor berisi air dengan kemurnian yang sangat tinggi dengan tahanan jenis mencapai 500 K Ω/cm. Air ini berfungsi sebagai moderator tambahan, pendingin, dan perisai radiasi arah vertikal.

Bahan bakar reaktor Kartini terdiri dari campuran homogen uranium zirconium hibrida (U Zr H) dalam bentuk alloy, dengan kandungan uranium sebanyak 8,5% dan perkayaan U^{235} sebesar 20%. Setiap elemen bahan bakar mengandung isotop U^{235} sekitar 3,7 gram (Widarto, 2002).

Reaktor Karini memiliki beberapa fasilitas irradiasi (aktivasi neutron), antara lain fasilitas irradiasi *central timble* dengan fluks neutron sebesar orde 10^{13} n cm⁻² det⁻¹, *Lazy Susan* dengan fluks neutron rerata sebesar $2,5 \times 10^{11}$ n cm⁻² det⁻¹, dan *Pneumatic Transfer System* dengan fluks neutron sebesar $3,5 \times 10^{11}$ n cm⁻² det⁻¹. Selain itu, reaktor Kartini juga memiliki fasilitas irradiasi *column thermal*, beamport tangensial, beamport tembus radial, dan *thermalizing column* (Widarto, 2002).

C. Perisai Radiasi

Perisai (*shielding*) dari tempat kerja personalia atau umum adalah suatu material yang diletakkan antara sumber radioaktif dengan seseorang atau sekelompok orang. Radiasi mengalami atenuasi (pelemahan) saat melewati material hingga dapat hilang atau tereduksi hingga dosis yang diperbolehkan. Beberapa material perisai radiasi jenis tertentu lebih efektif dibanding yang lain. Jenis dan jumlah dari material *shielding* dibutuhkan untuk membuat variasi sesuai dengan jenis dan kuantitas bahan radioaktif yang akan dihalangi (Mensah, dkk, 2012)

Ketika sinar-X atau gamma melewati material, beberapa partikel akan diserap (pelemahan foton), beberapa partikel melewati material tanpa interaksi (transmisi foton), dan beberapa partikel lain dihamburkan sebagai energi foton yang lebih rendah pada arah yang sangat berbeda dari pancarannya. Pelemahan foton oleh

medium mengikuti hubungan atenuasi eksponensial. Koefisien dari hubungan eksponensial adalah koefisien atenuasi linier μ (cm^{-1}) yang mana bergantung pada material *shielding* dan energi foton. (Mensah, dkk, 2012).

Efektivitas *shielding* selain bergantung pada energi radiasi, juga bergantung pada ketebalan dan jenis dari material *shielding*. Material *shielding* dengan nomor atom dan densitas yang lebih tinggi lebih efektif untuk mereduksi intensitas radiasi gamma. Pengukuran atenuasi dibagi dalam dua buah geometri pancaran, yakni *narrow beam geometry* dan *broad beam geometry*. Pada *narrow beam geometry*, radiasi yang dikolimasi dianggap ada di blok material yang mengandung N atom/ cm^3 . Hasil interaksinya, intensitas I dari radiasi gamma γ menurun sebagai fungsi ketebalan dari *shielding*.

$$dI = -I N \sigma_{total} dr \quad (1)$$

$$I = I_0 \exp(-N \sigma_{total} r) \quad (2)$$

Dimana σ_{total} adalah tampang lintang makroskopik total dari radiasi tertentu di material. I adalah intensitas radiasi setelah melewati material dengan ketebalan r . $N\sigma_{total}$ adalah interaksi tampang lintang makroskopik yang selanjutnya disebut dengan μ (koefisien atenuasi). Persamaan di atas menjadi

$$I = I_0 \exp(-\mu r) \quad (3)$$

(Zeb, dkk, 2010).

Parafin adalah campuran hidrokarbon rantai panjang yang diproduksi pada pemecahan mineral oil. Material ini bervariasi bergantung pada titik didihnya. Parafin dengan titik didih rendah memiliki karakter yang lebih lembut, dan parafin dengan titik didih tinggi akan memiliki karakter lebih keras (Bancroft, 2008).

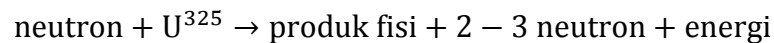
Aygun dan Budak (2012) menemukan peningkatan kemampuan *shielding* neutron sebanding dengan peningkatan konsentrasi minyak pada penelitiannya mengenai *shielding* parafin yang mengandung minyak. Parafin padat disebut juga parafin wax, dibentuk dari molekul yang paling berat dari $C_{20}H_{42}$ sampai $C_{40}H_{82}$. Parafin mengandung hidrogen sehingga sering digunakan sebagai *shielding* neutron. Ketika minyak ditambahkan pada parafin wax, terjadi moderasi neutron karena mengandung hidrogen yang tinggi.

Graciete Simoes de A. e Silva (2002) telah melakukan penelitian mengenai kemampuan *shielding* dengan material parafin menggunakan MCNP. Parafin merupakan material yang murah dan memiliki sifat mudah dibentuk. Widarto dan Sardjono (2006) juga telah melakukan penelitian atenuasi pada material parafin. Hasil penelitian atenuasi material dapat digunakan untuk menentukan tebal perisai radiasi yang efektif.

Jasim dan Abdulameer (2014) menemukan penurunan energi neutron oleh material parafin. Dalam laporan penelitiannya disebutkan bahwa material moderator radiasi yang baik adalah dengan nilai *cross section* hamburan yang tinggi dan nilai *cross section* absorpsi yang rendah, dan penurunan energi yang besar pada setiap tumbukan. Pelemahan neutron sebagian besar diakibatkan reaksi hamburan elastik dan inelastik dimana energi neutron tereduksi hingga dapat diserap oleh material *shielding*. Fluks neutron menurun secara cepat seiring dengan besarnya ketebalan parafin. Namun berbeda pada termal neutron yang justru reaksi *cross section* absorpsi semakin besar seiring dengan meningkatnya ketebalan parafin.

D. Interaksi Neutron dengan Materi

Hal yang paling utama dari pendesainan dan pengoperasian reaktor nuklir adalah pemanfaatan energi atau radiasi yang dihasilkan oleh reaksi berantai dari fisi nuklir. Reaksi fisi terjadi ketika inti atom berat, seperti U^{235} membelah menjadi dua inti yang lebih ringan dengan disertai pelepasan energi dan radiasi. Adapun reaksinya adalah sebagai berikut.

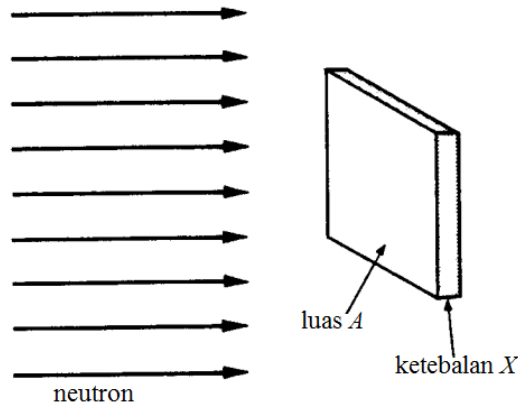


Produk dari reaksi berupa inti ringan, neutron, dan gamma yang muncul dengan energi kinetik sekitar 200 MeV. Neutron yang dihasilkan ini akan melakukan reaksi lagi dengan inti U^{235} sehingga terus berlangsung reaksi berantai (Duderstadt dan Hamilton, 1942).

Neutron berinteraksi dengan inti atom dengan cara yang bermacam-macam. Hamburan elastik terjadi ketika inti tidak berubah pada komposisi isotop atau energi internal setelah berinteraksi dengan neutron sehingga momentum dan energi kinetiknya konstan. Sedangkan hamburan inelastik terjadi jika neutron memberi sebagian energi kinetiknya pada inti sehingga inti tersebut menjadi tereksitasi. Inti yang tereksitasi akan memancarkan sinar gamma (n,γ). Selain hamburan, neutron dapat mengalami reaksi absorpsi, atau dikenal dengan *radiative capture*, dimana reaksi ini menghasilkan radiasi gamma. Neutron menghilang dari reaktor akibat proses reaksi absorpsi maupun reaksi partikel bermuatan (n,p) atau (n,α) (Lamarsh, 1961). Neutron yang menumbuk aluminium mengalami tumbukan inelastik dengan *cross section* 0,433 barns, yang menyebabkan inti target tereksitasi sehingga mengemisi sinar gamma (Padalino, dkk, 1999).

E. *Cross Section Neutron*

Cross section (tampang lintang) adalah interaksi-interaksi neutron dengan materi yang dideskripsikan dalam hubungan kuantitas. Sebuah target plat tipis dengan luas A dan ketebalan X mengandung N atom persatuan volume ditembak dengan neutron berintensitas I ditunjukkan seperti gambar berikut.



Gambar 1. Neutron Menumbuk Target (Lamars, 1961)

Laju neutron saat menumbuk target berbanding lurus dengan intensitas neutron, densitas, luas, dan ketebalan target, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\text{laju interaksi (dalam target keseluruhan)} = \sigma INAX \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{\text{laju interaksi}}{INAX} \quad (5)$$

Konstanta σ disebut *cross section*. NAX mendefinisikan total jumlah atom dalam target, hal ini berarti σ mendefinisikan laju interaksi per atom dalam target per satuan intensitas dari pancaran radiasi. *Cross section* diukur dalam satuan barn, dimana 1 barn sama dengan 10^{-24} cm^2 (Lamarsh, 1961).

Jumlah *cross section* untuk semua interaksi yang mungkin adalah sebagai berikut.

$$\sigma_t = \sigma_s + \sigma_i + \sigma_\gamma + \sigma_f + \dots \quad (6)$$

σ_t mendefinisikan *cross section* total, σ_s *cross section* hamburan elastik (*elastic scattering*), σ_i *cross section* hamburan inelastik (*inelastic scattering*), σ_γ *cross section* tangkapan radiatif, σ_f *cross section* fisi, dan seterusnya. *Cross section* total mengukur probabilitas yang sebuah interaksi dari berbagai jenis *cross section* terjadi saat neutron menumbuk target (Lamarsh, 1961).

Sebuah material target dengan ketebalan X ditembakkan neutron dengan arah sejajar dan intensitas I_0 . Sementara itu detektor neutron diletakkan dalam jarak tertentu di balik material target. $I(x)$ mewakili neutron yang tidak berinteraksi dengan material target setelah menembus jarak x pada target. Setelah melewati jarak dx , intensitas neutron mengalami penurunan karena sejumlah neutron telah berinteraksi dengan target dalam ketebalan dx .

$$-dI(x) = N\sigma_t I(x) dx \quad (7)$$

$$I(x) = I_0 e^{-N\sigma_t x} \quad (8)$$

Intensitas yang tidak berinteraksi akan menurun secara eksponensial dengan jarak target (Lamarsh, 1961).

Penentuan yang tepat dari reaksi nuklir dan *cross section* dari interaksi antara neutron dan inti atom telah menjadi keharusan pada fisika modern. Kebutuhan data *cross section* dengan akurasi yang tinggi bergantung pada jumlah aplikasi praktik nuklir, seperti astrofisika, transmutasi limbah radioaktif, dan studi mengenai teknologi fusi. *Cross section* dapat ditentukan dengan cara perhitungan teoritis dan eksperimen (Dzyziuk dan Kadenko, 2007).

Hamburan elastik menjadi kontributor dominan pada hidrogen. Hamburan elastik adalah reaksi yang paling penting dalam moderasi neutron. Pada hamburan elastik, energi kinetik total dikonservasi; energi yang hilang pada neutron ditransfer ke lompatan partikel; energi maksimum yang ditransfer terjadi dengan satu kali tumbukan. Fraksi maksimum energi yang hilang saat neutron berinteraksi dengan hidrogen (H^1) adalah 1,000 (Coderre, 2014).

F. Interaksi Foton dengan Materi

Interaksi foton dengan materi diklasifikasi berdasarkan dua keadaan: jenis material target (elektron, atom, inti), dan jenis reaksi yang terjadi (hamburan elastik, hamburan inelastik, serapan, dan lain-lain). Efek foto listrik dan hamburan Compton berbanding lurus dengan nomor atom unsur. *Cross section* efek fotolistrik energi rendah sebanding dengan Z^4 , sedangkan *cross section* efek fotolistrik energi tinggi sebanding dengan Z^5 . Sementara itu, *cross section* hamburan elastik sebanding dengan Z^2 , dan *cross section* hamburan inelastik sebanding dengan Z , dimana Z adalah nomor atom unsur (Hirayama, 2000).

Inti yang tereksitasi dapat memancarkan foton. Inti atom berada pada keadaan tereksitasi saat terjadi peluruhan alfa, beta, atau tumbukan dengan zarah lain. Setelah berada pada kondisi tereksitasi, inti akan menuju tingkat dasarnya dengan melepaskan energi dalam bentuk radiasi foton sinar gamma. Sinar gamma memiliki rentangan energi 0,1 MeV sampai dengan 10 MeV. (Wiyatmo, 2012)

Saat sinar gamma melewati suatu materi, maka sebagian energinya akan diserap oleh material yang dilaluinya sehingga intensitas gamma mengalami pelemahan (atenuasi). Atenuasi yang dialami sinar gamma bergantung pada

ketebalan dan jenis material yang dilaluinya. Bila suatu sinar gamma dengan intensitas I_0 masuk pada suatu material dengan tebal x , maka terjadi pengurangan intensitas yang ditulis dengan persamaan

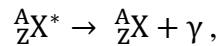
$$dI = -\mu I dx. \quad (9)$$

Apabila syarat batas $I = I_0$ pada $x = 0$, maka persamaan tersebut memiliki penyelesaian

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (10)$$

dimana I_0 adalah intensitas sinar gamma sebelum masuk material, I adalah intensitas setelah melewati material, x adalah ketebalan material, dan μ adalah koefisien atenuasi (Sutomo, dkk, 2012).

Peluruhan gamma ditampilkan oleh reaksi berikut.



dimana ${}^A_ZX^*$ mengindikasikan inti yang tereksitasi. Sinar gamma disebut juga foton, dan merupakan radiasi elektromagnetik. Sebagai partikel, foton berjalan dengan kecepatan cahaya c dan foton tidak bermuatan maupun bermassa. Hubungan antara energi foton, panjang gelombang λ dan frekuensi ν adalah sebagai berikut.

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (11)$$

(Tsoulfanidis, 1995).

Sinar-X adalah aplikasi dari foton yang berenergi kurang dari 1 MeV, sedangkan gamma adalah foton dengan energi lebih dari 1 MeV. Sinar gamma diemisikan pada transisi nuklir. Foton juga diproduksi akibat peristiwa bremsstrahlung, yakni percepatan atau perlambatan partikel bermuatan. Sinar-X

dan sinar gamma diemisi oleh atom dan inti yang *monoenergetic*. Bremstrahlung punya spektrum energi yang kontinyu (Tsoulfanidis, 1995).

Ada tiga interaksi foton dengan materi yang paling utama, yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton, dan produksi pasangan.

1. Efek Fotolistrik

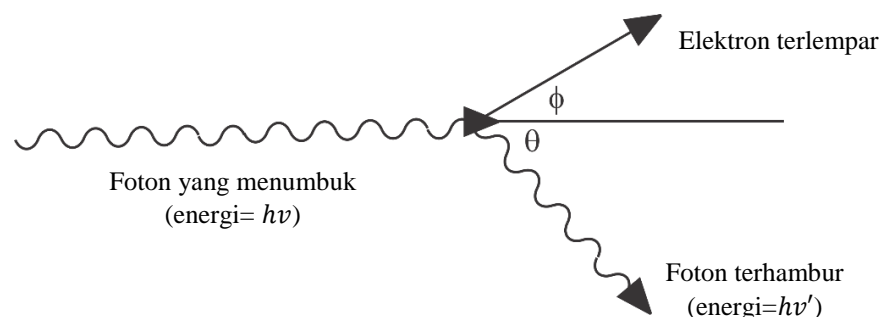
Dalam efek fotolistrik, sebuah foton mengalami interaksi dengan atom penyerap yang mana foton tersebut terserap dan menghilang secara sempurna. Untuk sinar gamma dengan energi yang cukup, yang paling besar kemungkinan untuk terjadi fotolistrik adalah yang paling erat ikatannya atau berasal dari kulit K. Fotoelektron muncul dengan energi, dijabarkan dalam persamaan berikut.

$$E_e = h\nu - E_b \quad (12)$$

Dimana E_b adalah energi ikat dari fotoelektron dalam kulit asalnya. Untuk energi sinar gamma yang lebih dari seribu keV, fotoelektron membawa mayoritas dari energi foton mula-mula (Knoll, 2000).

2. Hamburan Compton

Proses interaksi dari hamburan Compton terjadi antara foton sinar gamma dan sebuah elektron pada bahan yang menyerap. Dalam hamburan Compton, foton sinar gamma yang datang dibelokkan melewati sudut θ terhadap arah asalnya.



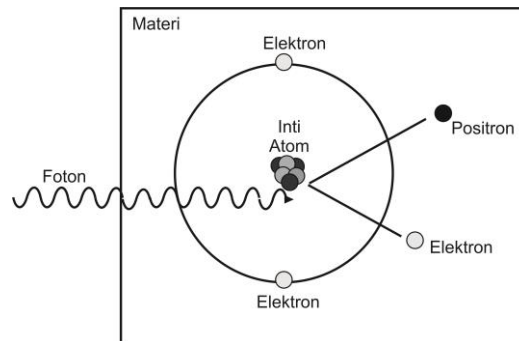
Gambar 2. Peristiwa Efek Compton (Knoll, 2000),

$$hv' = \frac{hv}{1 + \frac{hv}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \quad (13)$$

dengan m_0c^2 adalah energi diam elektron (0,511 MeV). Untuk hamburan dengan sudut kecil, energi yang ditransfer akan sangat kecil. Beberapa energi asli selalu ditahan oleh kejadian foton, selama nilai ekstrem $\theta = \pi$ (Knoll, 2000).

3. Produksi Pasangan

Produksi pasangan menunjukkan kesetaraan antara massa dengan energi sebagaimana dikenalkan pertama oleh Einstein. Saat sebuah foton yang mengenai materi memasuki daerah medan inti dan mempunyai energi lebih besar dari 1,002 MeV, maka foton tersebut akan hilang dan akan terpancarnya pasangan elektron-positron. (Knoll, 2000)



Gambar 3. Peristiwa *Pair Production* (Knoll, 2000)

G. MCNP (Monte Carlo N-Particle)

MCNP adalah suatu *computer code* yang memiliki kemampuan untuk menyimulasikan neutron, foton, elektron, atau transport neutron/foton/elektron yang bergandengan, serta mampu untuk mengkalkulasi nilai eigen untuk sistem kritis. MCNP dapat digunakan dalam beberapa metode transport: hanya neutron, hanya foton, hanya elektron, kombinasi transport neutron/foton dimana foton

diproduksi oleh interaksi neutron, neutron/foton/elektron, foton/elektron, atau elektron/foton (Briesmeister, 2010).

Metode MCNP dapat secara stokastik mensimulasi proses nuklir oleh sampling probabilitas dari kejadian individu peristiwa berturut-turut dan dengan mengikuti setiap siklus hidup partikel, dari tahap produksi sampai tahap kehancuran. Metode simulasi ini menghitung dari semua kejadian yang masuk akal seperti absorpsi, reaksi fisi, hamburan, dan pelepasan (Xoubi, 2016).

MCNP *Extended Version* (MCNP-X) merupakan versi baru dari MCNP dengan fitur tambahan dan kemampuan menyimulasikan proton. Satuan standar pada MCNP-X: (a) panjang dalam sentimeter, (b) energi dalam MeV, (c) densitas atom dalam atoms/barn-cm, (d) densitas massa dalam g/cm^3 , (e) waktu dalam *shakes* (10^{-8} detik), (f) temperatur dalam MeV(kT), dan (g) tampang lintang dalam barns (10^{-24} cm^2). Batasan energi foton radiasi yang dapat disimulasikan MCNP-X adalah 1 keV—100 GeV (Sardjono, dkk, 2015).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai Maret 2017 s.d. Juli 2017, di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA BATAN) Yogyakarta. Hasil dari penelitian ini adalah laju dosis radiasi setelah melewati *shielding* parafin yang dilapisi aluminium pada kolom termal reaktor Kartini Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA BATAN) Yogyakarta, untuk fasilitas BNCT.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan adalah satu unit komputer portabel dengan spesifikasi:

- 1) Sistem operasi : Windows 8.1 Pro 64-bit (6.3, Build 9600)
- 2) Memori : 2048 MB RAM
- 3) Prosesor : Intel(R) Celeron(R) CPU 1007U @1,50GHz (2 CPUs).

2. Perangkat Lunak

- a. Monte Carlo N-Particle seri (MCNP)
- b. Visual editor (Vised)
- c. Notepad

C. Studi Pustaka

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data mengenai fasilitas BNCT di reaktor Kartini. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

- Blok parafin yang telah diberi *casing* aluminium dengan ukuran (40×40×24) cm.
- Casing* aluminium memiliki ketebalan 3 mm
- Desain *shielding* BATAN yang terdiri atas susunan blok parafin yang diberi *casing* aluminium.
- Kode MCNP reaktor dan kolimator BNCT Ranti Warfi (2015).
- Batasan maksimal dosis efektif rata-rata yang disyaratkan BAPETEN adalah 20 mSv per tahun. Asumsi perhitungan yang digunakan adalah dengan aspek yang paling konservatif, yaitu lama pekerja dalam satu tahun 1920 jam dan berada pada posisi tepat di permukaan *shielding*.

$$\text{Jam kerja} = 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 5 \frac{\text{hari}}{\text{minggu}} \times 4 \frac{\text{minggu}}{\text{bulan}} \times 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} = 1920 \frac{\text{jam}}{\text{tahun}} \quad (14)$$

Maka dapat ditentukan batas laju dosis radiasi

$$\dot{H} = 20000 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{tahun}} \div 1920 \frac{\text{jam}}{\text{tahun}} = 10,42 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{jam}} \quad (15)$$

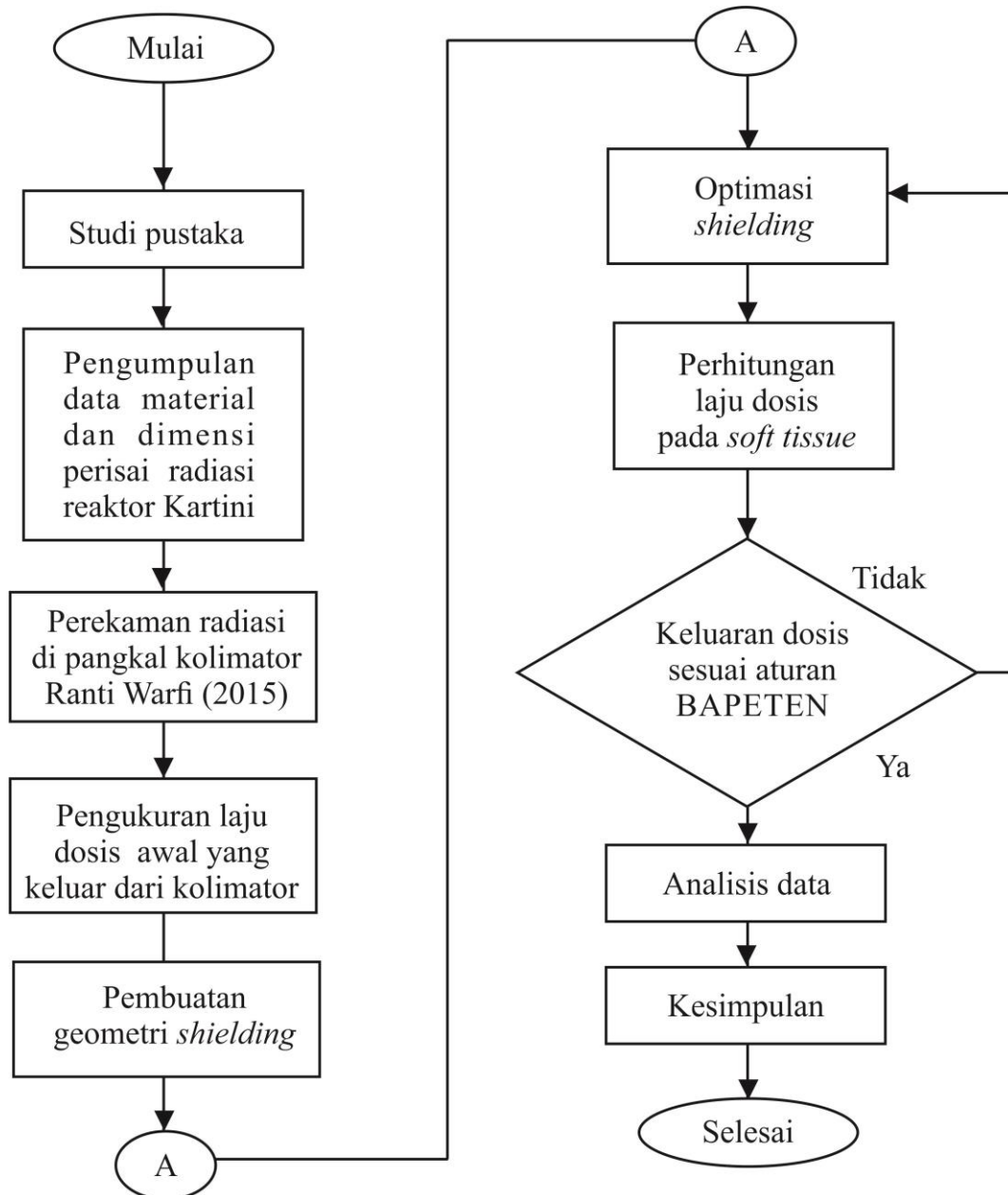
D. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Variabel bebas : ketebalan dan bahan perisai radiasi.
- Variabel terikat : laju dosis radiasi setelah melewati *shielding*.
- Variabel kontrol : nilai daya reaktor Kartini.

E. Alur Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian dirumuskan pada diagram alir (*flow chart*) yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian

F. Penggunaan MCNP

1. Input MCNP

Pembuatan kode input dilakukan dengan notepad kemudian disimpan dengan file berekstensi *.i. Kode input dalam notepad berisi *cell card*, *surface card*, dan *data card*, dengan penjelasan sebagai berikut.

a. *Cell card*

Bentuk input pada *cell card* adalah sebagai berikut.

$j \quad m \quad d \quad geom \quad params$

Tabel 2. Deskripsi Parameter Input pada *Cell Card*

Parameter input	Deskripsi
j	nomor sel; $1 \leq j \leq 99999$.
m	adalah nomor material, mengindikasikan bahwa sel tersebut mengandung material m . Spesifikasi material m ditulis pada <i>data card</i> . Jika sel tersebut hampa, maka ditulis 0.
d	adalah densitas material sel. Jika densitas tersebut memiliki satuan 10^{24} atom/cm ³ , maka input bernilai positif. Jika densitas tersebut memiliki satuan g/cm ³ , maka input bernilai negatif.
$geom$	spesifikasi dari geometri sel.
$params$	spesifikasi yang opsional dari parameter sel

b. *Surface card*

Surface card berisi informasi persamaan matematis yang digunakan dalam geometri pada cell.

Tabel 3. *Surface Card* pada MCNP (Briesmeister, 2000:268)

Mnemonic	Jenis	Deskripsi	Persamaan	Input
P	Plat	Umum	$A_x + B_y + C_z - D = 0$	ABCD
PX		Tegak lurus sb X	$x - D = 0$	D
PY		Tegak lurus sb Y	$y - D = 0$	D
PZ		Tegak lurus sb Z	$z - D = 0$	D
SO	Bola	Titik pusat di 0,0,0	$x^2 + y^2 - R^2 = 0$	R

S		Titik pusat di x,y,z	$(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$	$\bar{x} \bar{y} \bar{z} R$
C/Y	Silinder	Paralel sumbu Y	$(y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$	$\bar{x} \bar{y} R$
CY		Pada sumbu Y	$x^2 - z^2 - R^2 = 0$	R

c. Data card

Beberapa data card memerlukan penunjuk untuk membedakan input data untuk neutron, foton, dan elektron. *Data cards* dibagi menjadi beberapa kategori sebagai berikut.

MODE : mode
 IMP:N : sel dan parameter *surface*
 SDEF : spesifikasi sumber
 Fn, En : Spesifikasi tally
 Mn : Spesifikasi material
 NPS : Problem *cutoffs*
 (Briesmeister, 2000)

Untuk mencari nilai dari arus partikel, fluks, energi dan dosis radiasi yang melewati suatu unit volume atau permukaan, digunakan tally sebagai berikut.

Tabel 4. *Tally* pada MCNP (Sardjono, dkk, 2015)

Tally	Mode partikel	Deskripsi	Satuan
F1	:N, :P, :E	Arus yang melewati <i>surface</i>	Partikel
F2	:N, :P, :E	Fluks rerata yang melewati <i>surface</i>	Partikel/cm ²
F4	:N, :P, :E	Fluks rerata yang melewati sel	Partikel/cm ²
F5a	:N, :P	Fluks pada titik	Partikel/cm ²
F6	:N, :P, :N,P	Energi deposisi rerata yang melewati sel	MeV/g
F7	:N	Energi deposisi fisi dalam sel	MeV/g
F8	:N, :P, :E,E	Distribusi pulsa energi pada detector	Pulsa

2. Normalisasi

Untuk mendapatkan hasil output MCNP ekuivalen dengan sumber, maka diperlukan normalisasi. Faktor normalisasi diperoleh dengan mengonversi daya menjadi laju fisi dengan dasar daya optimal reaktor Kartini sebesar 100 kW.

$$(10^5 \text{ W}) \left(\frac{1 \text{ J/detik}}{\text{W}} \right) \left(\frac{1 \text{ MeV}}{1,602 \times 10^{-13} \text{ J}} \right) \left(\frac{1 \text{ fisi}}{200 \text{ MeV}} \right) = 3,121 \times 10^{15} \text{ fisi/detik} \quad (16)$$

Hal ini berarti untuk menghasilkan daya sebesar 100 kW diperlukan $3,121 \times 10^{15}$ fisi/detik. Data tersebut digunakan untuk menghitung faktor multiplikasi (f_m) pada tally dalam perhitungan dosis neutron dan gamma.

$$f_{m_n} = \left(\frac{3,121 \times 10^{15} \text{ fisi}}{\text{detik}} \right) \left(\frac{2,42 \text{ n}}{\text{fisi}} \right) = \frac{7,553 \times 10^{15} \text{ n}}{\text{detik}} \quad (17)$$

$$f_{m_\gamma} = \left(\frac{3,121 \times 10^{15} \text{ fisi}}{\text{detik}} \right) \left(\frac{1 \gamma}{\text{fisi}} \right) = \frac{3,121 \times 10^{15} \gamma}{\text{detik}} \quad (18)$$

(Sardjono, dkk, 2015)

3. Pengukuran Laju Dosis pada MCNP

Kode yang telah dibuat pada notepad disimpan dengan format file *.i. Program tersebut dijalankan menggunakan *command prompt* untuk memperoleh data laju dosis menggunakan tally F4. Keluaran dari hasil *running* MCNP dalam satuan Gy/s, kemudian dikalikan dengan faktor bobot sehingga diperoleh laju dosis efektif dengan satuan Sv/s. Faktor bobot yang digunakan dalam mengonversi terdapat pada lampiran 2.

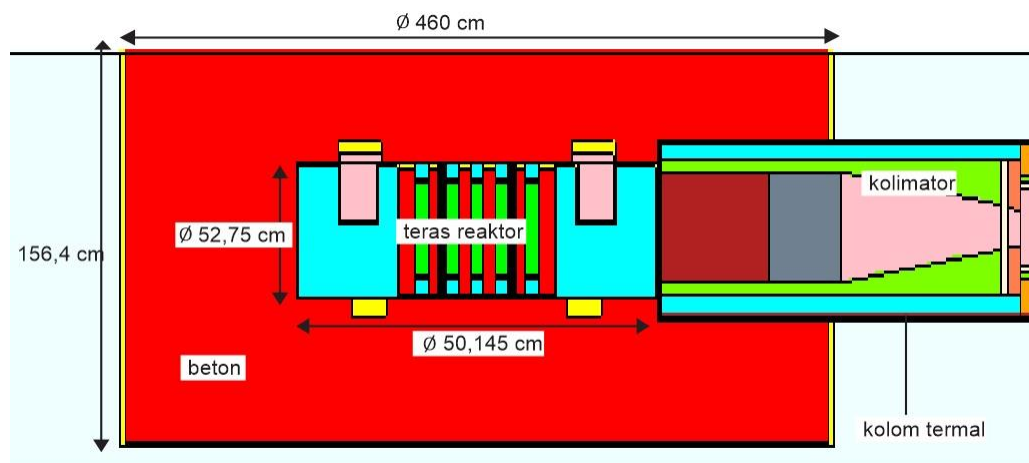
Peneliti melakukan uji material untuk mengetahui kemampuan bahan dengan *me-running* sumber yang diberi *shielding* dengan ketebalan tertentu. Bahan yang diuji adalah parafin, aluminium, dan timbal. Peneliti melakukan *running* laju dosis radiasi tanpa *shielding* untuk mengetahui dosis awal yang keluar dari kolimator. Setelah itu peneliti melakukan *running* dengan menambahkan *shielding*. Detektor yang digunakan berupa *soft tissue* dengan ketebalan 5 cm yang diletakkan pada permukaan luar *shielding*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

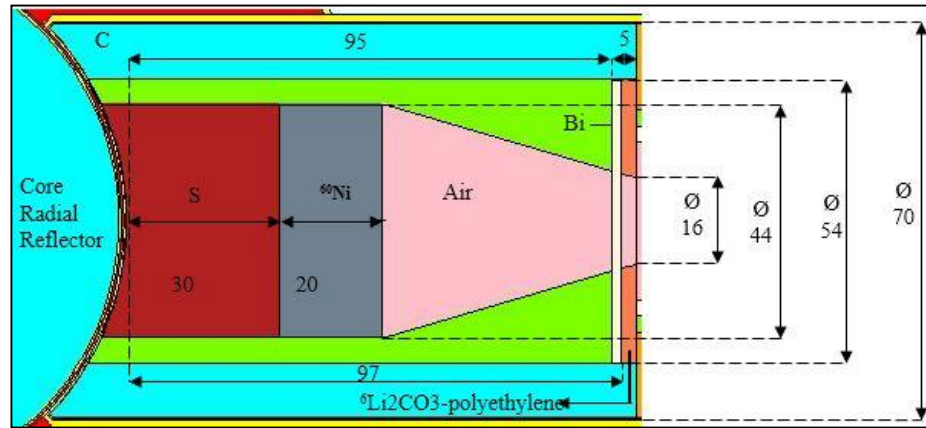
A. Pemodelan Sumber

Penelitian BNCT di Indonesia dilakukan di reaktor Kartini, Yogyakarta, yang merupakan reaktor riset dengan daya 100 kW. Dalam pemodelan ini daya reaktor dianggap konstan, sementara pada kondisi asli, besar daya terjadi fluktuasi. Untuk menjadikan hasil keluaran dari MCNP ekivalen dengan sumber, yakni reaktor dengan daya 100 kW, maka digunakanlah perhitungan faktor normalisasi yang terdapat pada metode penelitian. Dari hasil perhitungan faktor normalisasi diperoleh $7,553 \times 10^{15}$ neutron per detik dan $3,121 \times 10^{15}$ gamma per detik. Nilai *fluence* tersebut digunakan sebagai parameter dalam mendesain kolimator supaya keluaran radiasi dari reaktor memenuhi kriteria IAEA. Pemodelan reaktor dan kolimator dilakukan oleh Ranti Warfi (2015) dan ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Pemodelan Reaktor Kartini di MCNP (Ranti Warfi, 2015).

Sumber neutron yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan dari reaktor Kartini yang keluar dari kolom termal dan melewati kolimator khusus BNCT yang dirancang oleh Ranti Warfi (2015).



Gambar 6. Desain Kolimator Kolom Termal (Ranti Warfi, 2015)

Alasan menggunakan kolimator tersebut karena telah menghasilkan keluaran dengan nilai keluaran yang sesuai standar IAEA. Hasil keluaran kolimator Ranti Warfi (2015) disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Keluaran Kolimator BNCT Ranti Warfi (2015)

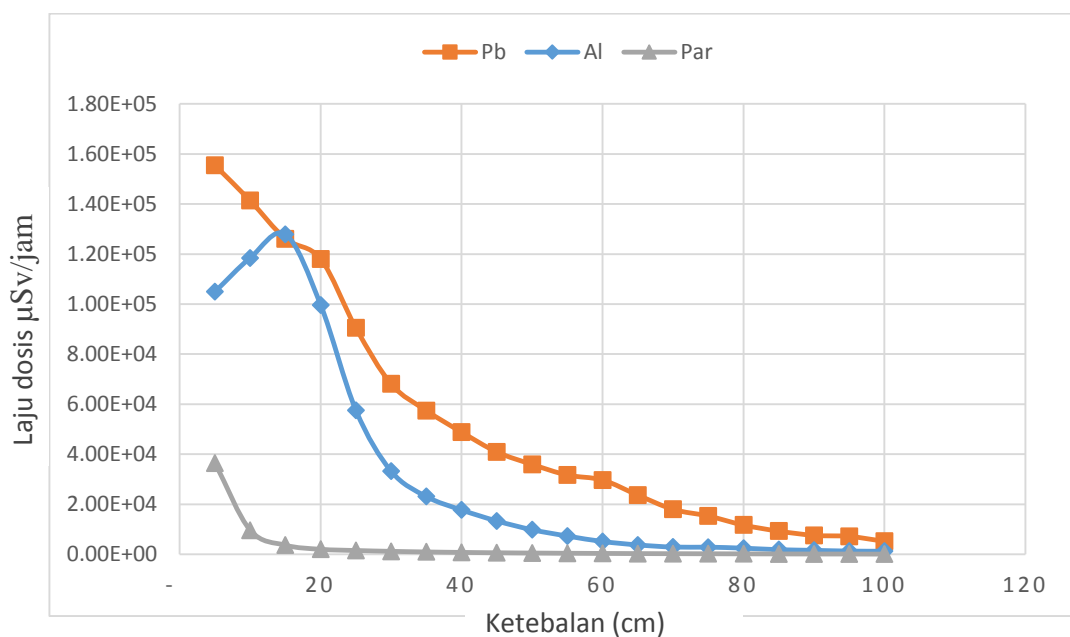
Parameter	Nilai	Standar IAEA (Sauerwein dan Moss, 2009)
ϕ_{epi} (n/cm ² s)	$1,13 \times 10^9$	$> 1,00 \times 10^9$
$\dot{D}_\gamma/\phi_{\text{epi}}$ (Gy.cm ² /n)	$1,45 \times 10^{-13}$	$< 2,0 \times 10^{-13}$
$\dot{D}_f/\phi_{\text{epi}}$ (Gy.cm ² /n)	$1,76 \times 10^{-13}$	$< 2,0 \times 10^{-13}$
$\phi_{\text{th}}/\phi_{\text{epi}}$	0,0108	$< 0,05$
I/ϕ_{total}	0,75	$> 0,7$

B. Pemodelan *Shielding*

Peneliti melakukan modeling *shielding* yang telah dirancang BATAN menggunakan simulator MCNP. Sebelumnya telah dilakukan penelitian *shielding* berbahan parafin dan timbal oleh Buyung E. P. (2015) menggunakan MCNP,

dengan dimensi *shielding* sebesar $(216 \times 95 \times 91)$ cm. Akan tetapi struktur parafin mudah berubah bentuk saat disusun. Parafin yang bentuknya tidak lagi utuh akan menjadi peluang untuk radiasi bocor ke luar *shielding*. Untuk mengatasi hal tersebut, maka setiap blok parafin pada *shielding* diberi *casing* aluminium dengan tebal 3 mm untuk menjaga struktur *shielding* tetap kokoh. Desain *shielding* yang digunakan dalam fasilitas BNCT di BATAN ditunjukkan pada Gambar 11.

Untuk mengetahui kemampuan pada setiap bahan dalam menurunkan laju dosis radiasi, Peneliti menguji setiap bahan dengan varisai ketebalan. Bahan yang diuji merupakan bahan yang digunakan pada rancangan ini: parafin dan aluminium, serta bahan yang tersedia di BATAN, yaitu timbal. Adapun kemampuan bahan dalam memoderasi dosis disajikan dalam tabel berikut.



Gambar 7. Grafik Penurunan Laju Dosis terhadap Ketebalan Bahan

1. Parafin

Parafin pada penelitian ini adalah yang terdapat pada database MCNP, yaitu dengan fraksi atom H 0,67 dan fraksi atom C 0,32. Dari tabel dapat dilihat bahwa

parafin memiliki kemampuan paling baik dalam menyerap radiasi di antara material yang lain. Parafin memiliki kandungan hidrogen yang tinggi sehingga efektif untuk menyerap neutron, namun tidak efektif untuk menyerap gamma. Uji material parafin juga telah dilakukan oleh Made Adrian (2015) yang menunjukkan pada ketebalan sampai dengan 40 cm parafin sangat efektif untuk menyerap radiasi dibanding beton barit. Sementara itu pada penelitian Nurlaili, dkk (2008) mengenai *shielding*, menghasilkan penurunan pada fluks neutron dari $4,77 \times 10^{-9}$ n/cm²s menjadi $1,04 \times 10^{-28}$ n/cm²s pada ketebalan 50 cm. Dari grafik di atas ditunjukkan bahwa parafin efektif untuk menyerap radiasi total sampai pada ketebalan 45 cm.

Seperti yang telah dijelaskan pada toeri, neutron dapat kehilangan semua energinya dalam satu kali tumbukan. Dari hasil uji material yang diperoleh, laju dosis neutron sama dengan nol pada ketebalan 30 cm. Oleh sebab itu parafin dipilih untuk dijadikan bahan utama *shielding*, yang selain kemampuan dalam menurunkan radiasi neutron, juga harganya lebih terjangkau jika dibanding beton barit.

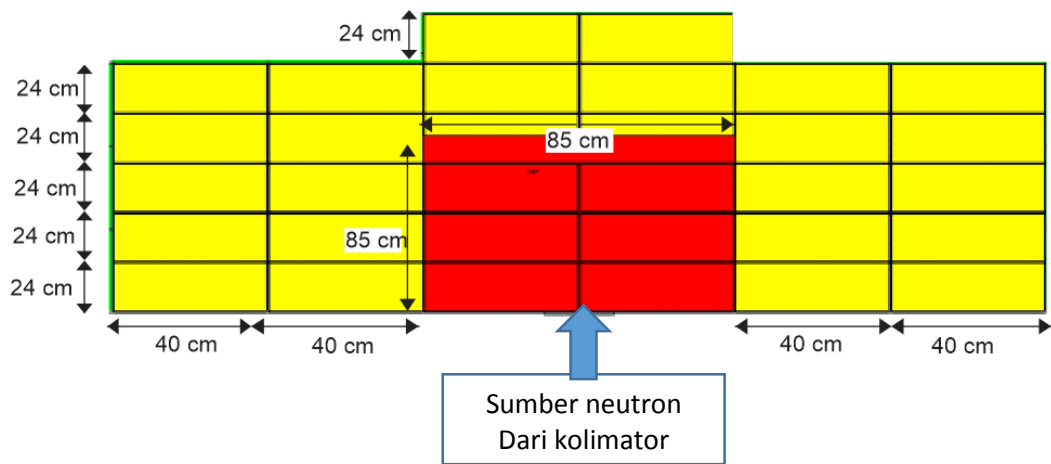
2. Aluminium

Pada grafik di atas terlihat bahwa aluminium turut menurunkan laju dosis, namun tidak sebaik parafin. Neutron yang menumbuk aluminium akan menghasilkan reaksi hamburan inelastik, dimana reaksi tersebut menghasilkan inti target tereksitasi sehingga mengemisikan sinar gamma. Neutron yang keluar dari kolimator menumbuk aluminium terlebih dahulu sebelum menumbuk parafin, sehingga jumlah neutron yang menumbuk aluminium belum ada yang terserap. Hal ini dapat menyebabkan terjadi reaksi hamburan inelastik dari *shielding* yang menghasilkan sinar gamma.

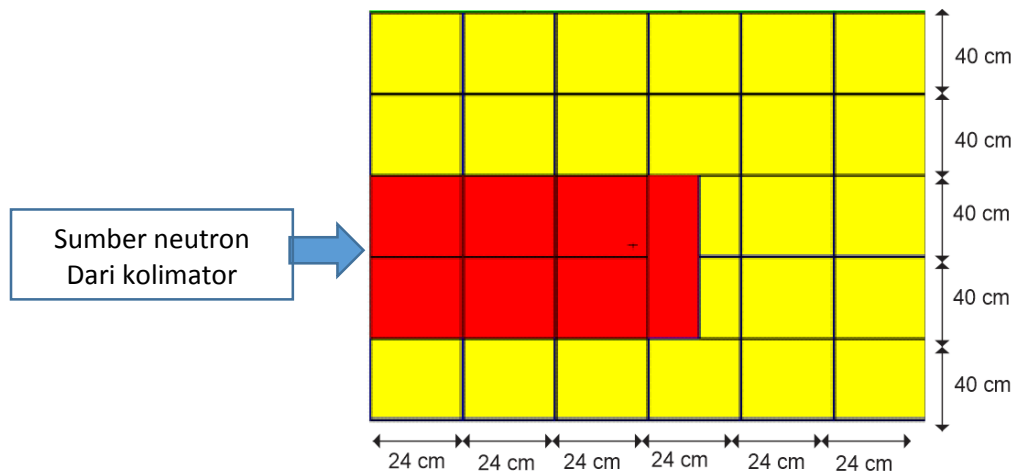
3. Timbal

Timbal memiliki nomor atom dan densitas yang tinggi, yakni dengan nomor atom 82 dan densitas $11,35 \text{ gram/cm}^3$. *Cross section* efek fotolistrik sebanding dengan nomor atom. Oleh sebab itu, meski timbal tidak dapat menyerap neutron dengan baik namun timbal memiliki kemampuan menyerap radiasi gamma karena memiliki nomor atom tinggi.

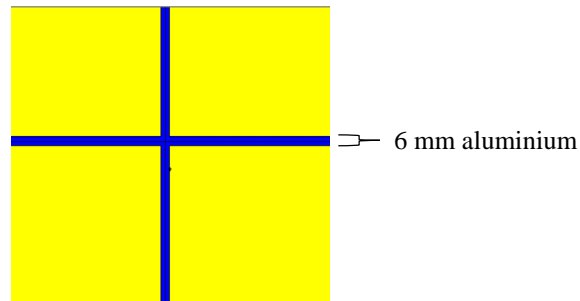
Desain awal *shielding* BATAN hanya terdiri atas parafin yang diberi *casing* aluminium dengan dimensi *shielding* $(1,2 \times 2,35 \times 2)$ meter, dimana satu blok *shielding* parafin sekaligus *casing* aluminium memiliki dimensi $(40 \times 40 \times 24)$ cm. Susunan blok *shielding* ditunjukkan pada gambar 11. Detektor *soft tissue* diletakkan pada bagian atas, depan, kanan, kiri *shielding*. Pemodelan *shielding* pada MCNP ditunjukkan pada gambar 8 dan gambar 9.



Gambar 8. Formasi *Shielding* Tampak Atas



Gambar 9 Formasi *Shielding* Tampak Samping



Gambar 10. Irisan Parafin yang Diberi *Cassing* Aluminium

Keterangan:

■ Parafin

■ Udara

■ Aluminium

C. Pengukuran Laju Dosis

Pengukuran laju dosis dilakukan pada jaringan biologi (*soft tissue*) dengan tebal 5 cm yang memiliki kandungan beberapa unsur dari ICRP (*International Commision Radiation Protection*) yang dikonversikan dalam kode MCNP. *Soft tissue* ICRP yang digunakan pada penelitian ini khusus untuk penelitian proteksi radiasi, dimana *soft tissue* ini digunakan sebagai detektor laju dosis efektif.

Kode program yang digunakan untuk menghasilkan keluaran dosis adalah dengan tally F4 (fluks rerata yang melewati cell). Untuk mengonversi nilai fluks (partikel/cm²) menjadi dosis, digunakan koefisien Kerma (*kinetic energy released*

per unit mass) dengan satuan Gy.cm^2 , dan dikalikan dengan faktor normalisasi tiap partikel (partikel/sekon) sehingga diperoleh nilai dosis serap dengan satuan Gy/s. Satuan Gy/s dikonversi ke $\mu\text{Sv/jam}$ dengan mengalikan faktor bobot tiap jenis radiasi.

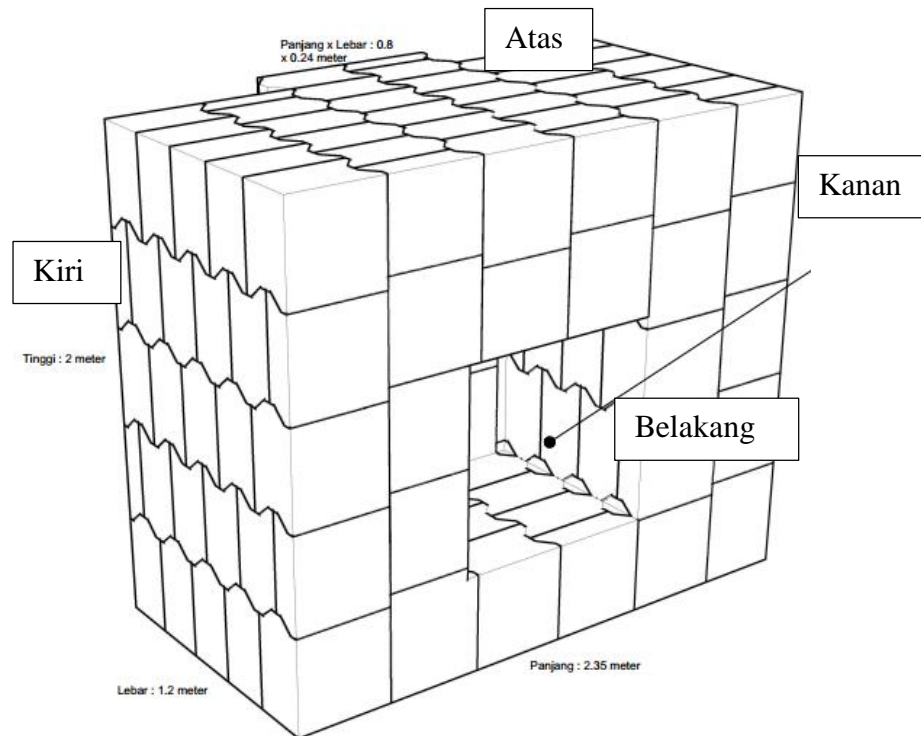
Dosis awal pada *soft tissue* yang diletakkan pada mulut kolimator, dan diperoleh hasil sebesar $45118,80 \mu\text{Sv/jam}$. *Soft tissue* diletakkan di permukaan terluar dari *shielding* untuk mengukur laju dosis radiasi setelah melewati *shielding* yang dirancang. Hal ini bertujuan untuk mengukur kemungkinan terburuk yang diterima pekerja, yaitu berada di jarak paling dekat dengan batas *shielding*.

D. Hasil Penelitian

Asumsi yang digunakan adalah proteksi radiasi yang paling konservatif, yakni dengan waktu bekerja para pekerja radiasi dalam satu tahun adalah selama 1920 jam dengan jarak tepat di permukaan luar *shielding*. Dengan asumsi tersebut, maka batas dosis maksimal yang diterima pekerja adalah $10,42 \mu\text{Sv/jam}$. Setelah dilakukan *running* dengan MCNP, masih terdapat lokasi yang melebihi batas dosis maksimal pekerja radiasi yang diijinkan untuk diterima. Seperti pada hasil uji material di atas, neutron yang menumbuk aluminium terjadi reaksi hamburan inelastik yang menghasilkan radiasi gamma.

Neutron pertama kali berinteraksi dengan aluminium sebelum berinteraksi dengan parafin. Saat itu mulai terjadi interaksi sehingga mengemisikan sinar gamma. Sementara itu, parafin kurang bagus dalam menyerap radiasi gamma. Maka dari itu Peneliti melakukan optimasi dengan menambahkan lapisan timbal pada

bagian-bagian yang diperlukan. Hasil laju dosis yang diperoleh sebelum dan sesudah optimasi adalah sebagai berikut.



Gambar 11. Desain *Shielding* BATAN (Sumber: dokumentasi BATAN)

Gambar 11 merupakan bentuk tiga dimensi dari *shielding* yang diteliti. Berikut adalah hasil dari pengukuran laju dosis pada *soft tissue* yang diletakkan pada permukaan *shielding* beserta skema permukaan *shielding* dalam dua dimensi (gambar 12).

Tabel 6 (a). Laju dosis bagian kiri

		Soft tissue	Laju dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)		
			Awal ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Pb (cm)	Hasil optimasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
kiri atas	1	2	3		
	1	2	3		
	1	2	3		
Kiri atas	1	2	3		
	1	2	3		

Gambar 12 (a) Permukaan *Soft Tissue* Kiri

	3	2,14	-	2,14
Kiri bawah	1	37,58	0,2	0,00
	2	102,24	0,2	0,00
	3	22,75	-	22,75

Tabel 6 (b). Laju dosis bagian kanan

Kanan atas	1	2	3
Kanan tengah	1	2	3
Kanan bawah	1	2	3

Gambar 12 (b) Permukaan *Soft Tissue*

	Soft tissue	Laju dosis		
		Awal ($\mu\text{Sv/jam}$)	Pb (cm)	Hasil optimasi ($\mu\text{Sv/jam}$)
Kanan tengah	1	82,08	2,4	3,24
	2	40,32	0,3	17,28
	3	126	3,5	18,3
Kanan atas	1	21,97	2,5	20,52
	2	2,48	-	2,48
	3	3,28	-	3,28
Kanan bawah	1	146,8	3,3	0,00
	2	124,92	1,5	57,60
	3	48,6	0,2	14,86

Tabel 6 (c). Laju dosis bagian tengah

Depan atas	1	2	3
Depan tengah	1	2	3
Depan bawah	1	2	3

Gambar 12 (c) Permukaan *Soft Tissue*

	Soft tissue	Laju dosis		
		Awal ($\mu\text{Sv/jam}$)	Pb (cm)	Hasil optimasi ($\mu\text{Sv/jam}$)
Depan tengah	1	720	9	12,60
	2	1251	9,5	9,36
	3	745,2	12	12,96
Depan atas	1	98,28	5	24,84
	2	284,04	6,5	3,08
	3	73,33	4,5	23,40
Depan bawah	1	236,52	8,5	23,11
	2	1152	7,5	11,88
	3	205,2	4	9,72

Tabel 6 (d). Laju dosis bagian atas

atas	1	2	4
		3	

Gambar 12 (d) Permukaan *Soft Tissue* Atas

	Soft tissue	Laju dosis		
		Awal ($\mu\text{Sv/jam}$)	Pb (cm)	Hasil optimasi ($\mu\text{Sv/jam}$)
Atas	1	27,29	1	14,4
	2	37,49	0,3	8,64
	3	8,64	-	8,64
	4	20,27	2	11,59

Nilai dosis terbesar berada pada *shielding* bagian depan. Hal ini karena berada tepat di depan sumber radiasi. Dinding *shielding* bagian depan juga lebih tipis dibanding dengan yang lain. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa laju dosis telah menurun setelah diberi lapisan timbal dengan ketebalan tertentu. Beberapa lokasi yang masih di atas 10,42 $\mu\text{Sv/jam}$ dapat diatasi dengan aspek proteksi radiasi yang lain, yaitu jarak dan waktu. Salah satu upaya untuk memperoleh posisi yang aman adalah dengan memperhitungkan hubungan radiasi dengan jarak pekerja dengan sumber, dimana fluks radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak, atau $1/r^2$ (Ahmed, 2007).

Dari uji material, parafin relatif paling baik di antara dua material yang lain, maka dari itu parafin digunakan sebagai bahan utama. Sementara itu aluminium berperan dalam menjaga struktur parafin, sedangkan timbal berperan dalam menyerap dosis gamma akibat reaksi neutron dengan aluminium.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pemodelan *shielding* berbahan parafin dan aluminium untuk fasilitas BNCT sumber kolom termal reaktor Kartini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sebelum ditambahkan timbal, laju dosis masih relatif tinggi di atas batas maksimal. Laju dosis telah menurun setelah diberi lapisan timbal dengan ketebalan tertentu. Salah satu upaya untuk memperoleh posisi yang aman adalah dengan memperhitungkan hubungan radiasi dengan jarak pekerja dengan sumber, dimana fluks radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak, atau $1/r^2$.
2. Parafin sangat efektif untuk menyerap radiasi neutron karena memiliki kandungan hidrogen. Parafin diberi aluminium sebagai *casing* yang bertujuan untuk memperkuat struktur *shielding*. Timbal ditambahkan untuk menyerap radiasi gamma akibat neutron yang berinteraksi dengan aluminium.

B. Saran

1. Perlu ada uji mekanik dari kekuatan material untuk menguji struktur desain *shielding*.
2. Perlu dilakukan pengukuran langsung *shielding* berbahan parafin dan aluminium ini sebagai validasi antara teori (simulasi) dengan eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, N. A. 2007. *Physics & Engineering of Radiation Detection*. Amsterdam: Elsevier.
- Aygun, B., Budak, G. 2012. *A New Neutron Absorber Material: Oil Loaded Paraffin Wax*. Nuclear Science and Technology, India: Transworld Research Network.
- Bancroft, J. D. 2008. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques*. Livingston Elsevier.
- BAPETEN. 2013. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Dokumen Teknis BAPETEN—Indonesia.
- Benjamin, D. J. 2014. *The Efficacy of Surgical Treatment of Cancer—20 Years Later*. Medical Hypotheses.
- Briesmeister, J. F. 2000. *MCNPTM—A General Monte Carlo N—Particle Transport Code*. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory.
- Coderre, J. 2014. *Principles of Radiation Interactions*. Massachusetts Institute of Technology: MIT Open Course Ware.
- Definition of Cross Section. Diakses di www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/nuclear-engineering-fundamentals, 16 Juli 2017
- Dijulio, D. D., Cooper-Jensen, C. P., Perrey, H., Fissum, K., Refors, E., Scherzinger, J., Bentley, P. M., 2017. *A Polyethylene-B₄C Based Concrete for Enhanced Neutron Shielding at Neutron Research Facilities*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 859.
- Duderstadt, J. J., Hamilton, L. J. 1942. *Nuclear Reactor Analysis*. Michigan: Departement of Nuclear Engineering-The University of Michigan.
- Dzysiuk, N., Kadenko, I. 2007. *Experimental Determination of Cross Section for (n, x) Nuclear Reactions*. Ukraina: Taras Shevcheko National University of Kyiv, Departement of Nuclear Physics.

- Fauziah, N. 2013. *A Conceptual Design of Neutron Collimator in The Thermal Column Of Kartini Research Reactor for Boron Neutron Capture Therapy*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Guan, X.C., Manabe, M., Tamaki, S., Liu, S., Sato, F., Murata, I., Wang, T., 2016. *Experimental Study on the Performance of an Epithermal Neutron Flux Monitor for BNCT*. Applied Radiation and Isotopes 113.
- Heydari, F., dan R., Ahmadi. 2015. *Tehran Research Reactor as a Neutron Source for Boron Neutron Capture Therapy in iran: a Cancer Treatment Plan for Future*. AABES, London.
- Hirayama, Hideo. 2000. *Lecture Note on—Photon Interactions and Cross Sections*. Tsukuba: High Energy Accelerator Research Organization.
- International Commision Radiation Protection. *Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23*. Pergamon Press, Oxford 1975.
- Iverson, E. B. 2016. *Neutron Moderation*. OAK RIDGE—National Laboratory.
- Jasim, Mahdi S., Abdulameer, N. T. 2014. *Neutron Capture Cross Section Measurements of Paraffin Wax*. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management 3 (4).
- Kasesaz, Y., Rahmani, F., Khalafi, H., 2015. *Feasibility Study of Using Laser Generated Neutron beam for BNCT*, Applied Radiation and Isotopes.
- Kerr, G. D., Pace III, J. V., Egbert, S. D. 2005. *Survivor Dosimetry “Part A Fluence to Kerma Conversion Coefficients”*. Radiation Protection and Dosimetry (S61)
- Knoll, Glenn F. 2000. *Radiation Detection and Measurement*. USA: John Willey & Sons, Inc.
- Lamarsh, John R. *Introduction to Nuclear Reactor Theory*. 1961. New York: Addison-Wesley Publishing Company.

- Masoudi, S. F., Rasouli, F. S., Ghasemi, M. 2017. *BNCT of Skin Tumors Using the High-Energy DT Neutrons*. Applied Radiation and Isotopes.
- Mattsson, S., Soderberg, M. 2013. *Dose Quantities and Units for Radiation Protection*. Radiation Protection in Nuclear Medicine. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mazzolani, F. M. 2012. *3D Aluminium Structures*. Thin Walled Structures 61.
- Mensah, William, O., Fletcher, John J., Danso, Kwaku A. 2012. *Assessment of Radiation Shielding Properties of Polyester Steel Composite using MCNP5*. International Journal of Science and Technology 2 (7).
- Mokhtari, J., Faghihi, F., Khorsandi, J., dan Hadad K. 2017. *Conceptual Design Study of The Low Power and LEU Medical Reactor for BNCT using in-Tank Fission Converter to Increase Epithermal Flux*. Progress in Nuclear Energy 95.
- Moss, R. L. 2014. *Critical Review, with an Optimistic Outlook, in Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*. Applied Radiation and Isotop.
- Padalino S., Oliver, H., Nyquist, J. 1999. *DT Neutron Yield Measurement Using Neutron Activation of Aluminium*. New York: The State University of New York.
- Pokhmurskii, V. I., Zin, I. M., Vynar, V. A., Bily L. M. 2011. *Contradictory Effect of Chromate Inhibitor on Corrosive Wear of Aluminium Alloy*. Corrosion Science 53.
- Prabowo, B. E. 2015. *Desain Perisi Radiasi Fasilitas Uji In Vitro Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Beam Port Tembus Radial Reaktor Kartini Menggunakan Simulator Monte Carlo N-Particle Extended (MCNPX)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sardjono, Y., Widarto. 2007. *Penentuan dan Analisis Karakteristik Laju Dosis Aktivitas Ar-41 pada Kolom Termal Reaktor Kartini*. Prosiding PPI-PDIPTN. Yogyakarta: PSTA BATAN.

- Sardjono, Y., Harto, W. A., Arrozaqi, M. I. M.; Irhas; Santoso, B. H., Tanthawi, H. 2015. *Pengantar Monte Carlo N Particle—Dasar-dasar Perancangan Fasilitas BNCT*. Yogyakarta: Galangpress.
- Sauerwein, W.A.G., Moss, R. L. 2009. *Requirements for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) at a Nuclear Research Reactor*. Netherlands: European Communities.
- Shaaban, I., Albarhoum, M. 2015. *Design Calculation of an Epithermal Neutronic Beam for BNCT at the Syrian MNSR Using MCNP4C Code*. Progress in Nuclear Energy Journal 78.
- Silva, G. S.A., Coelho, P. R. P., Siqueira, P. T. D. 2002. *Shielding Design for A Research Facility in the IEA-R1 Reactor*. Seoul, Korea, PHYSOR.
- Stella, S. 2011. *Design of a Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNA) System for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Using Monte Carlo Code*. Disertasi. Pavia: University of Pavia.
- Sutomo, Z., Petrus, Karyanta, E. 2012. *Desain Konseptual Perisai Biologi Irradiator Gamma Co-60*. Jurnal Perangkat Nuklir 6 (1).
- Tsoufanidis, N. 1995. *Measurement and Detection Of Radiation*. Bristol: Taylor & Francis.
- Warfi, R., Harto, A. W., Sardjono, Y. 2015. *Optimization of Neutron Collimator in the Thermal Column of Kartini Research Reactor for In Vitro and In Vivo Trials Facility of Boron Neutron Capture Therapy Using MCNP-X Simulator*. Prosiding Simposium Internasional BNCT, *The Application of Nuclear Technology to Support National Sustainable Development*.
- Widarto. 2002. *Analisis dan Penentuan Distribusi Fluks Neutron Saluran Tembus Radial untuk Pendayagunaan Reaktor Kartini*. GANENDRA 5.
- Widarto dan Sardjono, Y. 2006. *Analisis Karakteristik Faktor Atenuasi Grafit, Parafin, dan Boral untuk Bahan Perisai Radiasi Neutron Termal*. Yogyakarta: Seminar Nasional II SDM Teknologi Nuklir, ISSN 1978-0176.

- Williams III, R.G., Gesh, C. J., Pagh, R. T. 2016. *Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling*. Pacific Northwest National Laboratory.
- Wiyatmo, Y. 2012. *Fisika Nuklir—dalam Telaah Semi-Klasik & Kuantum*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- WHO Media Centre. 2017. Diakses di <http://www.who.int/mediacentre/factsheets> pada 29 Maret 2017.
- Xoubi, N. 2016. “*Calculation of The Power and Absolute Flux of A Source Driven Subcritical Assembly Using Monte Carlo MCNP Code*”. Annals of Nuclear Energy.
- Zeb, J., Arshed, W., Rashid, A., Akhter, P. 2010. *Gamma Shielding by Aluminum (Al-Shielder Manual)*. Islamabad, Pakistan: Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology.

Lampiran 1

Hasil Simulasi Laju Dosis Serap pada Bahan

Tebal (cm)	Laju Dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)		
	Timbal	Alumnium	Parafin
5	1.05E+05	1.55E+05	3.65E+04
10	1.18E+05	1.41E+05	9.64E+03
15	1.28E+05	1.26E+05	3.67E+03
20	9.97E+04	1.18E+05	2.02E+03
25	5.76E+04	9.05E+04	1.54E+03
30	3.32E+04	6.81E+04	1.21E+03
35	2.31E+04	5.75E+04	9.65E+02
40	1.77E+04	4.89E+04	7.83E+02
45	1.33E+04	4.09E+04	6.38E+02
50	9.84E+03	3.60E+04	5.29E+02
55	7.33E+03	3.17E+04	4.48E+02
60	5.15E+03	2.97E+04	3.79E+02
65	3.78E+03	2.37E+04	3.14E+02
70	2.92E+03	1.80E+04	2.72E+02
75	2.88E+03	1.53E+04	2.44E+02
80	2.48E+03	1.17E+04	2.11E+02
85	1.88E+03	9.28E+03	1.74E+02
90	1.61E+03	7.60E+03	1.51E+02
95	1.32E+03	7.17E+03	1.35E+02
100	1.26E+03	5.22E+03	1.03E+02

Lampiran 2

Faktor Bobot Radiasi (Stella, 2011)

Radiasi	Faktor Bobot
Foton	1
Neutron	
$E < 500 \text{ keV}$	5
$0,5 \text{ MeV} < E < 1 \text{ MeV}$	10
$1 \text{ MeV} < E < 2,5 \text{ MeV}$	13
$2,5 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$	20

Lampiran 3

A. Koefisien kerma untuk neutron

Table 3. Comparison of new (DS02) and old (DS86) kerma coefficients for neutrons in total soft tissue of ICRP-1975 reference man

Neutron energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)		Neutron energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)	
	DS02	DS86		DS02	DS86
1.00E-11 ^a	9.49E-12 ^b		1.95E-1	1.01E-11	1.02E-11
1.00E-10	3.00E-12 ^b		2.10E-1	1.06E-11	1.06E-11
1.00E-9	9.49E-13 ^b		2.30E-1	1.11E-11	1.12E-11
1.00E-8	3.00E-13 ^b		2.50E-1	1.16E-11	1.16E-11
2.53E-8	1.89E-13	1.89E-13	2.70E-1	1.21E-11	1.22E-11
3.60E-8	1.60E-13	1.60E-13	2.90E-1	1.27E-11	1.27E-11
6.30E-8	1.21E-13	1.21E-13	3.10E-1	1.31E-11	1.32E-11
1.10E-7	9.15E-14	9.15E-14	3.30E-1	1.36E-11	1.36E-11
2.00E-7	6.80E-14	6.80E-14	3.50E-1	1.41E-11	1.41E-11
3.60E-7	5.06E-14	5.06E-14	3.70E-1	1.46E-11	1.46E-11
6.30E-7	3.84E-14	3.84E-14	3.90E-1	1.52E-11	1.53E-11
1.10E-6	2.91E-14	2.90E-14	4.20E-1	1.66E-11	1.65E-11
2.00E-6	2.17E-14	2.18E-14	4.60E-1	1.64E-11	1.68E-11
3.60E-6	1.64E-14	1.64E-14	5.00E-1	1.65E-11	1.66E-11
6.30E-6	1.28E-14	1.28E-14	5.40E-1	1.71E-11	1.71E-11
1.10E-5	1.03E-14	1.03E-14	5.80E-1	1.77E-11	1.77E-11
2.00E-5	8.92E-15	8.95E-15	6.20E-1	1.83E-11	1.83E-11
3.60E-5	8.87E-15	8.91E-15	6.60E-1	1.89E-11	1.90E-11
6.30E-5	1.05E-14	1.05E-14	7.00E-1	1.95E-11	1.95E-11
1.10E-4	1.45E-14	1.45E-14	7.40E-1	2.00E-11	2.00E-11
2.00E-4	2.33E-14	2.33E-14	7.80E-1	2.06E-11	2.06E-11
3.60E-4	3.97E-14	3.99E-14	8.20E-1	2.11E-11	2.11E-11
6.30E-3	6.42E-13	6.43E-13	1.05E+0	2.52E-11	2.54E-11
1.10E-2	1.09E-12	1.09E-12	1.15E+0	2.52E-11	2.53E-11
2.00E-2	1.88E-12	1.89E-12	1.25E+0	2.63E-11	2.63E-11
3.60E-2	3.11E-12	3.12E-12	1.35E+0	2.71E-11	2.72E-11
6.30E-2	4.82E-12	4.85E-12	1.45E+0	2.76E-11	2.78E-11
8.20E-2	5.86E-12	5.86E-12	1.55E+0	2.83E-11	2.85E-11
8.60E-2	6.05E-12	6.06E-12	1.65E+0	2.94E-11	2.96E-11
9.00E-2	6.24E-12	6.25E-12	1.75E+0	2.99E-11	3.00E-11
9.40E-2	6.44E-12	6.44E-12	1.85E+0	3.12E-11	3.12E-11
9.80E-2	6.62E-12	6.62E-12	1.95E+0	3.13E-11	3.15E-11
1.05E-1	6.92E-12	6.93E-12	2.10E+0	3.24E-11	3.25E-11
1.15E-1	7.35E-12	7.36E-12	2.30E+0	3.29E-11	3.30E-11
1.25E-1	7.76E-12	7.77E-12	2.50E+0	3.44E-11	3.43E-11
1.35E-1	8.13E-12	8.15E-12	2.70E+0	3.59E-11	3.59E-11
1.45E-1	8.50E-12	8.53E-12	2.90E+0	3.75E-11	3.75E-11
1.55E-1	8.86E-12	8.88E-12	3.10E+0	3.85E-11	3.86E-11
1.65E-1	9.19E-12	9.21E-12	3.30E+0	4.19E-11	4.20E-11
1.75E-1	9.51E-12	9.55E-12	3.50E+0	4.29E-11	4.30E-11
1.85E-1	9.83E-12	9.85E-11	3.70E+0	4.40E-11	4.39E-11

Neutron energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)		Neutron energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)	
	DS02	DS86		DS02	DS86
3.90E+0	4.33E-11	4.33E-11	9.80E+0	5.96E-11	5.83E-11
4.20E+0	4.43E-11	4.44E-11	1.05E+1	6.01E-11	5.95E-11
4.60E+0	4.43E-11	4.44E-11	1.15E+1	6.38E-11	6.35E-11
5.00E+0	4.68E-11	4.66E-11	1.25E+1	6.38E-11	6.38E-11
5.40E+0	4.57E-11	4.58E-11	1.35E+1	6.54E-11	6.61E-11
5.80E+0	4.77E-11	4.77E-11	1.45E+1	6.61E-11	6.87E-11
6.20E+0	4.92E-11	4.91E-11	1.55E+1		7.08E-11
6.60E+0	5.07E-11	4.99E-11	1.60E+1	6.77E-11	
7.00E+0	5.19E-11	5.18E-11	1.65E+1		7.20E-11
7.40E+0	5.42E-11	5.47E-11	1.75E+1		7.28E-11
7.80E+0	5.47E-11	5.47E-11	1.80E+1	6.95E-11	
8.20E+0	5.41E-11	5.40E-11	1.85E+1		7.39E-11
8.60E+0	5.56E-11	5.52E-11	1.95E+1		7.52E-11
9.00E+0	5.66E-11	5.66E-11	2.00E+1	7.04E-11	
9.40E+0	5.83E-11	5.74E-11			

^aRead as 1.00×10^{-11} MeV or 1.00×10^{-5} eV, etc.

^bExtrapolated values (Figure 2).

B. Koefisien Kerma untuk gamma

Table 2. Comparison of new (DS02) and old (DS86) kerma coefficients for photons in soft tissue of ICRP-1975 reference man

Photon energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)		Photon energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)	
	DS02	DS86		DS02	DS86
1.00E-3 ^a	5.63E-10	5.66E-10	2.00E-1	9.43E-13	9.45E-13
1.50E-3	2.83E-10	2.84E-10	3.00E-1	1.52E-12	1.53E-12
2.00E-3	1.68E-10	1.68E-10	4.00E-1	2.09E-12	2.09E-12
3.00E-3	8.07E-11	7.98E-11	5.00E-1	2.62E-12	2.63E-12
4.00E-3	4.70E-11	4.63E-11	6.00E-1	3.13E-12	3.14E-12
5.00E-3	3.02E-11	2.98E-11	8.00E-1	4.08E-12	4.09E-12
6.00E-3	2.09E-11	2.05E-11	1.00E+0	4.93E-12	4.95E-12
8.00E-3	1.16E-11	1.14E-11	1.25E+0	5.89E-12	
1.00E-2	7.24E-12	7.09E-12	1.50E+0	6.76E-12	6.81E-12
1.50E-2	3.04E-12	2.98E-12	2.00E+0	8.29E-12	8.33E-12
2.00E-2	1.64E-12	1.60E-12	3.00E+0	1.09E-11	1.10E-11
3.00E-2	7.02E-13	6.87E-13	4.00E+0	1.31E-11	1.33E-11
4.00E-2	4.23E-13	4.15E-13	5.00E+0	1.52E-11	1.54E-11
5.00E-2	3.25E-13	3.21E-13	6.00E+0	1.71E-11	1.75E-11
6.00E-2	2.98E-13	2.95E-13	8.00E+0	2.09E-11	2.15E-11
8.00E-2	3.27E-13	3.26E-13	1.00E+1	2.47E-11	2.55E-11
1.00E-1	4.03E-13	4.03E-13	1.50E+1	3.39E-11	3.58E-11
1.50E-1	6.61E-13	6.60E-13	2.00E+1	4.33E-11	4.65E-11

^aRead as 1.00×10^{-3} MeV or 0.001 MeV, etc.

Lampiran 4

Kode Material (Williams III, dkk, 2006)

A. Parafin

<u>Element</u>	<u>Weight Fraction</u>	<u>Atom Fraction</u>	<u>Atom Density</u> $\left(\frac{atoms}{b * cm}\right)$
H	0.148605	0.675311	0.082572
C	0.851395	0.324689	0.039701

Density (g / cm^3)= 0.930

Comments:

Reference: Taken from NIST Listings, "Compositions of Materials used in STAR Databases" webpage:

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=213>

MCNP Form

c Paraffin Wax, rho = 0.930 g/cc

\$ Neutron

1001 -0.148605

6012 -0.851395

1001 0.675311

6012 0.324689

\$ Photon

1000 -0.148605

6000 -0.851395

1000 0.675311

6000 0.324689

B. Aluminium

<u>Element</u>	<u>Weight Fraction</u>	<u>Atom Fraction</u>	<u>Atom Density</u> $\left(\frac{atoms}{b*cm}\right)$
Al	1.000000	1.000000	0.060238

Density (g/cm^3)= 2.6989
Comments:
Reference: Taken from NIST Listings, "Compositions of Materials used in STAR Databases" webpage:
<http://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=013>

MCNP Form

c Aluminum, rho = 2.6989 g/cc

\$ **Neutron**

13027 -1.000000

13027 1.000000

\$ **Photon**

13000 -1.000000

13000 1.000000

C. Udara

<u>Element</u>	<u>Weight Fraction</u>	<u>Atom Fraction</u>	<u>Atom Density</u> $\left(\frac{atoms}{b*cm}\right)$
C	0.000124	0.000151	0.000000007
N	0.755268	0.784437	0.000039128
O	0.231781	0.210750	0.000010512
Ar	0.012827	0.004671	0.000000233

Density (g/cm^3) = 0.001205
Comments:
Reference: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab2.html>

MCNP Form

c Air, Dry (near sea level), rho = 0.001205

\$ Neutron

6000 -0.000124 \$ C
 7014 -0.755268 \$ N
 8016 -0.231781 \$ O
 18000 -0.012827 \$ Ar

6000 0.000151 \$ C
 7014 0.784437 \$ N
 8016 0.210750 \$ O
 18000 0.004671 \$ Ar

\$ Photon

6000 -0.000124 \$ C
 7000 -0.755268 \$ N
 8000 -0.231781 \$ O
 18000 -0.012827 \$ Ar

6000 0.000151 \$ C
 7000 0.784437 \$ N
 8000 0.210750 \$ O
 18000 0.004671 \$ Ar

D. Timbal

<u>Element</u>	<u>Weight Fraction</u>	<u>Atom Fraction</u>	<u>Atom Density</u> $\left(\frac{\text{atoms}}{\text{b} \cdot \text{cm}}\right)$
Pb	1.000000	1.000000	0.032988

Density (g / cm^3)= 11.35

Comments:

Reference: Taken from NIST Listings, "Compositions of Materials used in STAR Databases" webpage:

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=082>**MCNP Form**

c Lead, rho = 11.35 g/cc

\$ Neutron

82000 -1.000000

82000 1.000000

\$ Photon

82000 -1.000000

82000 1.000000

E. *Soft Tissue* (Adrian, 2015)

Unsur	Kode di MCNP	Fraksi Massa
H	1001	0,10454
C	6012	0,22663
N	7014	0,02490
O	8016	0,63525
Na	11023	0,00112
Mg	12000	0,00013
Si	14000	0,00030
P	15031	0,00314
S	16032	0,00204
Cl	17000	0,00133
K	19000	0,00208
Ca	20000	0,00024
Fe	26000	0,00005
Zn	30000	0,00003
Rb	37087	0,00001
Zr	40000	0,00001

Lampiran 5

Input MCNP

C. Pemodelan reaktor dan kolimator

```
c -----
c ***** REAKTOR KARTINI - TRIGA MARK II *****
c -----
c
c -----
c Cell Cards *****
c -----
c
c -----
c B ring
c -----
c fuel
c -----
3 4 -5.64 -91 106 -107 u=1 imp:n=0 imp:p=0
4 5 -1.6 -91 105 -227 u=1 imp:n=0 imp:p=0
1 15 -10.2 -91 -106 227 u=1 imp:n=0 imp:p=0
5 5 -1.6 -91 108 -109 u=1 imp:n=0 imp:p=0
6 6 -0.000176 -92 105 -109 #1 #3 #4 #5 u=1 imp:n=0 imp:p=0
7 2 -7.9 (92 :-105 :109 )-93 u=1 imp:n=0 imp:p=0
8 1 -1 93 u=1 imp:n=0 imp:p=0
9 0 -174 104 -110 fill=1 imp:n=0 imp:p=0
c -----
10 like 9 but trcl (-2.032 3.52 0 ) imp:n=0 imp:p=0
11 like 9 but trcl (-6.096 3.52 0 ) imp:n=0 imp:p=0
12 like 9 but trcl (-8.128 0 0 ) imp:n=0 imp:p=0
13 like 9 but trcl (-6.096 -3.52 0 ) imp:n=0 imp:p=0
c -----
c C ring
c -----
14 like 9 but trcl (-2.032 -3.52 0 ) fill=1 imp:n=0 imp:p=0
15 like 9 but trcl (3.937 0 0) fill=1 imp:n=0 imp:p=0
16 like 9 but trcl (2.865 4 0) fill=1 imp:n=0 imp:p=0
17 like 9 but trcl (-0.064 6.929 0) imp:n=0 imp:p=0
18 like 9 but trcl (-4.064 8.001 0) imp:n=0 imp:p=0
19 like 9 but trcl (-8.064 6.929 0) imp:n=0 imp:p=0
20 like 9 but trcl (-10.993 4 0) imp:n=0 imp:p=0
21 like 9 but trcl (-12.065 0 0) imp:n=0 imp:p=0
27 like 9 but trcl (-8.064 -6.929 0) imp:n=0 imp:p=0
28 like 9 but trcl (-4.064 -8.001 0) imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Control Rod - Shim
c -----
29 like 9 but trcl (-0.064 -6.929 0) fill=1 imp:n=0 imp:p=0
22 7 -2.52 -95 161 -110 imp:n=0 imp:p=0
23 6 -0.000176 -95 163 -165 imp:n=0 imp:p=0
24 3 -2.7 (95 :-161 :165 )-96 160 -110 imp:n=0 imp:p=0
25 7 -2.52 -95 110 -163 imp:n=0 imp:p=0
26 3 -2.7 (95 :-161 :165 )-96 110 -166 imp:n=0 imp:p=0 $
c -----
c Control Rod - Safety
```

```

c -----
5110  7  -2.52 -118 167 -110 imp:n=0 imp:p=0
5111  6 -0.000176 -118 169 -171 imp:n=0 imp:p=0
5112  3  -2.7 (118 :-167 :171 )-119 107 -110 imp:n=0 imp:p=0
5113  7  -2.52 -118 110 -169 imp:n=0 imp:p=0
5114  3  -2.7 (118 :-167 :171 )-119 110 -172 imp:n=0 imp:p=0
c -----
c D ring
c -----
30 like 9 but trcl (7.874 0 0) imp:n=0 imp:p=0
31 like 9 but trcl (7.154 4.083 0) imp:n=0 imp:p=0
32 like 9 but trcl (5.081 7.674 0) imp:n=0 imp:p=0
33 like 9 but trcl (1.905 10.339 0) imp:n=0 imp:p=0
34 like 9 but trcl (-1.991 11.757 0) imp:n=0 imp:p=0
35 like 9 but trcl (-6.137 11.757 0) imp:n=0 imp:p=0
36 like 9 but trcl (-10.033 10.339 0) imp:n=0 imp:p=0
37 like 9 but trcl (-13.209 7.674 0) imp:n=0 imp:p=0
38 like 9 but trcl (-15.282 4.083 0) imp:n=0 imp:p=0
39 like 9 but trcl (-16.002 0 0) imp:n=0 imp:p=0
40 like 9 but trcl (-15.282 -4.083 0) imp:n=0 imp:p=0
41 like 9 but trcl (-13.209 -7.674 0) imp:n=0 imp:p=0
42 like 9 but trcl (-10.033 -10.339 0) imp:n=0 imp:p=0
43 like 9 but trcl (-6.137 -11.757 0) imp:n=0 imp:p=0
44 like 9 but trcl (-1.991 -11.757 0) imp:n=0 imp:p=0
45 like 9 but trcl (1.905 -10.339 0) imp:n=0 imp:p=0
46 like 9 but trcl (5.081 -7.674 0) imp:n=0 imp:p=0
47 like 9 but trcl (7.154 -4.083 0) imp:n=0 imp:p=0
c -----
c E ring
c -----
48 like 9 but trcl (11.811 0 0) imp:n=0 imp:p=0
49 like 9 but trcl (11.27 4.109 0) imp:n=0 imp:p=0
50 like 9 but trcl (9.684 7.938 0) imp:n=0 imp:p=0
51 like 9 but trcl (7.161 11.225 0) imp:n=0 imp:p=0
52 like 9 but trcl (3.874 13.748 0) imp:n=0 imp:p=0
53 like 9 but trcl (0.045 15.334 0) imp:n=0 imp:p=0
54 like 9 but trcl (-8.173 15.334 0) imp:n=0 imp:p=0
55 like 9 but trcl (-12.002 13.748 0) imp:n=0 imp:p=0
56 like 9 but trcl (-15.289 11.225 0) imp:n=0 imp:p=0
57 like 9 but trcl (-17.812 7.938 0) imp:n=0 imp:p=0
58 like 9 but trcl (-19.398 4.109 0) imp:n=0 imp:p=0
59 like 9 but trcl (-19.939 0 0) imp:n=0 imp:p=0
60 like 9 but trcl (-19.398 -4.109 0) imp:n=0 imp:p=0
61 like 9 but trcl (-17.812 -7.938 0) imp:n=0 imp:p=0
62 like 9 but trcl (-15.289 -11.225 0) imp:n=0 imp:p=0
63 like 9 but trcl (-12.002 -13.748 0) imp:n=0 imp:p=0
64 like 9 but trcl (-8.173 -15.334 0) imp:n=0 imp:p=0
65 like 9 but trcl (-4.064 -15.875 0) imp:n=0 imp:p=0
66 like 9 but trcl (0.045 -15.334 0) imp:n=0 imp:p=0
67 like 9 but trcl (3.874 -13.748 0) imp:n=0 imp:p=0
68 like 9 but trcl (7.161 -11.225 0) imp:n=0 imp:p=0
69 like 9 but trcl (9.684 -7.938 0) imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Control Rod - Regulating
c -----
570 like 9 but trcl (11.27 -4.109 0) imp:n=0 imp:p=0

```

```

5115  7  -2.52 -121 154 -110 imp:n=0 imp:p=0
5116  6 -0.000176 -121 156 -158 imp:n=0 imp:p=0
5117  3  -2.7 (121 :-154 :158 )-122 153 -110 imp:n=0 imp:p=0
5118  7  -2.52 -121 110 -156 imp:n=0 imp:p=0
5119  3  -2.7 (121 :-154 :158 )-122 110 -159 imp:n=0 imp:p=0
c -----
c F ring
c -----
c Pneumatic System
c -----
71    8 -0.001205 -100 105 -110 imp:n=0 imp:p=0
72    3  -2.7 100 -101 104 -110 :-100 104 -105 imp:n=0 imp:p=0
80    8 -0.001205 -100 110 -172 imp:n=0 imp:p=0
5109  3  -2.7 100 -101 110 -172 imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Dummy
c -----
73    5  -1.6 -97 (105 -107 :108 -109 ) u=2 imp:n=0 imp:p=0
74    6 -0.000176 -98 105 -109 #73 u=2 imp:n=0 imp:p=0
75    3  -2.7 (98 :-105 :109 )-99 u=2 imp:n=0 imp:p=0
76    1   -1 99 u=2 imp:n=0 imp:p=0
77    0   -176 104 -110 fill=2 imp:n=0 imp:p=0
c -----
78 like 77 but trcl (-1.288 3.964 0) imp:n=0 imp:p=0
79 like 9 but trcl (12.067 11.72 0) imp:n=0 imp:p=0
81 like 9 but trcl (5.906 17.268 0) imp:n=0 imp:p=0
82 like 9 but trcl (2.097 18.963 0) imp:n=0 imp:p=0
83 like 9 but trcl (-1.979 19.83 0) imp:n=0 imp:p=0
84 like 77 but trcl (-21.588 15.684 0) imp:n=0 imp:p=0
85 like 9 but trcl (-10.225 18.963 0) imp:n=0 imp:p=0
86 like 77 but trcl (-29.473 13.122 0) imp:n=0 imp:p=0
87 like 77 but trcl (-32.845 10.672 0) imp:n=0 imp:p=0
88 like 77 but trcl (-35.634 7.574 0) imp:n=0 imp:p=0
89 like 9 but trcl (-22.279 8.11 0) imp:n=0 imp:p=0
90 like 77 but trcl (-39.006 0 0) imp:n=0 imp:p=0
91 like 9 but trcl (-24.003 0 0) imp:n=0 imp:p=0
92 like 9 but trcl (-23.567 -4.146 0) imp:n=0 imp:p=0
93 like 77 but trcl (-37.718 -12.256 0) imp:n=0 imp:p=0
94 like 77 but trcl (-35.634 -15.866 0) imp:n=0 imp:p=0
95 like 77 but trcl (-32.845 -18.964 0) imp:n=0 imp:p=0
96 like 9 but trcl (-14.034 -17.268 0) imp:n=0 imp:p=0
97 like 77 but trcl (-21.588 -23.976 0) imp:n=0 imp:p=0
98 like 77 but trcl (-17.418 -23.976 0) imp:n=0 imp:p=0
99 like 77 but trcl (-13.342 -23.109 0) imp:n=0 imp:p=0
100 like 9 but trcl (5.906 -17.268 0) imp:n=0 imp:p=0
551 like 77 but trcl (-6.161 -18.964 0) imp:n=0 imp:p=0
552 like 9 but trcl (12.067 -11.720 0) imp:n=0 imp:p=0
553 like 9 but trcl (14.151 -8.11 0) imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Neutron Source
c -----
804 like 77 but trcl (0 -8.292 0) imp:n=0 imp:p=0
805    9 -11.126 -123 126 -127 imp:n=0 imp:p=0
807    6 -0.000176 -124 105 -109 #805 imp:n=0 imp:p=0
808    3  -2.7 (124 :-105 :109 )(-125 104 -110 ) imp:n=0 imp:p=0
c -----

```

c Aluminium Lattice

```
c -----
5121 3 -2.7 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 15 16 18 19 20 21 22 23 24 25&
26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 43 44 45 46 47 48&
49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70&
71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 89 101 174 175&
176 177 178 179 -102 191 -110 :-104 195 -102 89 imp:n=0 imp:p=0
```

c Lazy Suzan

```
c -----
138 8 -0.001205 181 -182 110 -187 :198 -181 200 -187 imp:n=0 imp:p=0
139 3 -2.7 (180 -181 -200 :182 -183 -143 )110 :187 -143 181 -182 :187
-143 190 -181 :190 -198 -143 199 :198 -180 -200 199 imp:n=0 imp:p=0
151 8 -0.001205 181 -182 186 -110 imp:n=0 imp:p=0
152 3 -2.7 (180 -181 -110 :182 -183 -110 )185 &
:-186 185 181 -182 imp:n=0 imp:p=0
```

c Radial Graphite

```
c -----
5122 5 -1.6 -223 221 218 -222 (225 -226 :226 ):222 -219 221 -220
(225 -226 :226 ):218 -215 223 -220 imp:n=0 imp:p=0
5144 3 -2.7 (102 -218 :219 -173 (225 -226 :226 ))-220 221 :
(102 -188 :184 -173 )220 -110 :102 -173 -221 195 :-222 215 -185 223
:(215 -188 :184 -222 )-110 185 imp:n=0 imp:p=0
```

c Beam Port

```
c -----
5145 3 -2.7 224 -225 -226 218 -173 imp:n=0 imp:p=0
5146 8 -0.001205 -224 218 -226 -173 imp:n=0 imp:p=0
5148 3 -2.7 224 -225 -226 173 -196 imp:n=0 imp:p=0
5149 8 -0.001205 -224 173 -226 -196 imp:n=0 imp:p=0
```

c Core Sit

```
c -----
5142 3 -2.7 -195 213 -202 204 -206 208 (201 :-203 :205 :-207 ):-213 214
(-209 :-210 :-211 :-212 ) imp:n=0 imp:p=0
```

c Reactor Pool

```
c -----
120 1 -1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 15 16 18 19 20 21 22 23 24 25&
26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 43 44 45 46 47 48&
49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70&
71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 89 101 174 175&
176 177 178 179 -102 104 -191 :-89 (104 -110 :-104 195 ):217 -143&
173 -103 226 :-62 104 -110 :(188 -180 :183 -184 )185 -110 :96 -175&
160 -110 :125 -177 104 -110 :119 -178 107 -110 :122 -179 153 -110:&
(-179 -153 :-175 -160 :-178 -107 )104 imp:n=0 imp:p=0
147 1 -1 ((143 :110 -190 )175 178 179 :110 183 )101 -173 -143 :214&
-143 173 -103 225 -226 :-189 143 -172 175 178 179 101 :&
(-134 :135 :-136 :-137 :-116 )103 -189 -143 214&
(225 -226 :226 ):(166 -175 :159 -179 )-172&
101 :-195 -173 213 (203 -201 207 -205 :202&
:-204 :-208 :206 ):96 -175 110 -166 :119 -178 110 -172 :122 -179&
110 -159 :214 -217 173 -103 226 :-173 -213&
214 (209 210 211 212 ):-180 190 110&
-199 :103 -189 214 -217 imp:n=0 imp:p=0
```



```

140 3 -2.7 189 -192 -172 214 (225 -226 :226 )(-134 :135 :-116 :143&
:-217 ):-192 -214 194 imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Collimator
c -----
5123 8 -0.001205 116 -145 (-144 :-239 )236&
-150 :236 -239 -150 imp:n=1 imp:p=1
5126 8 -0.001205 -239 150 -147 imp:n=1 imp:p=1
5156 8 -0.001205 116 -145 -144 237 -151 116 imp:n=1 imp:p=1
5166 8 -0.001205 140 -141 103 111 -112 113 114 -245 116 149
(-242 :241 :-244 :243 ) imp:n=1 imp:p=1 vol=4
5124 17 -8.91 116 (145 :144 )(-146 :-239 )148 -151 imp:n=1 imp:p=1
5125 21 -2.7 116 148 -234 -145 -144 imp:n=1 imp:p=1
5157 13 -9.49 116 234 -237 -145 -144 imp:n=1 imp:p=1
163 8 -0.001205 147 -149 -241 242 244 -243 imp:n=1 imp:p=1
164 19 -1.28 -146 239 236 -147 144 imp:n=1 imp:p=1
165 20 -9.78 -146 151 -236 116 imp:n=1 imp:p=1
167 8 -0.001205 -245 149 -241 242 244 -243 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c Thermal Column
c -----
5134 5 -1.6 140 -141 103 111&
-112 113 114 -147 116 148 146 imp:n=1 imp:p=1
168 7 -1.992 140 -141 103 111 -112 113 147 -252 116 148&
(-254 :253 :-256 :255 ) imp:n=0 imp:p=0
169 20 -9.78 140 -141 103 111 -112 113 247 -149 116 148&
(-242 :241 :-244 :243 ):249 -248 251 -250 147 -149 116 148&
(-242 :241 :-244 :243 ) imp:n=0 imp:p=0
170 17 -8.91 140 -141 103 111 -112 113 252 -247 116 148&
(-249 :248 :-251 :250 ):254 -253 256 -255 147 -247 116 148&
(-249 :248 :-251 :250 ) imp:n=0 imp:p=0
5135 10 -2.607 (-111 :112 :-113 :-114 :-140 :141 )139 -142 230 116 129&
-130 131 132 -245 146 imp:n=0 imp:p=0
5136 3 -2.7 (-129 :130 :-131 :-132 :-139 :142 )217 -143 103 116 -245&
134 -135 136 137 imp:n=0 imp:p=0
5155 3 -2.7 -230 139 -142 103 111 -112 131 132 -115 116 imp:n=0 imp:p=0
5130 3 -2.7 -148 140 -141 228 111 -112 113 114 -115 116 imp:n=1 imp:p=1
153 3 -2.7 -228 140 -141 230 111 -112 113 114 -115 116 imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Concrete
c -----
5141 14 -3.35 192 -196 -245 -172&
214 (225 -226 :226 )(-134 :135 :-116 :143 ):-196 &
192 -217 197 -245 :-192 -194 197 imp:n=0 imp:p=0
c -----
c Outer Side
c -----
159 0 (196:172:-197:4167:4150:-4156:-197:4176) #1101 #5141 &
#201 #9201 #202 #9202 #211 #9211 #212 #9212 #221 #9221 #222 #9222 &
#231 #9231 #232 #9232 #241 #9241 #242 #9242 #301 #9301 #302 #9302 &
#311 #9311 #312 #9312 #321 #9321 #322 #9322 #331 #9331 #332 #9332 &
#341 #9341 #342 #9342 #2222 #8111 #8112 #8113 #8114 &
#777 #776 #775 #774 #8815 #8816 imp:n=0 imp:p=0
c 159 0 196
c 4166 -454 4156)
c 159 0 196:(196:172:-197:4167:-472:4176:-4156) &

```

c (196 -4166 4150):(4166 452 -4167):(-4167 -454 4166):4167 &
 c :(-4166 -4156 196):(245 -196 4150):(245 -196 -4156)&
 c :(-4167 -472 245):(-245 -197):(172 196):(172 -245 196)&
 c :(-4167 4176 245):(-4167 4176 245) #5141
 c -----PERISAI RADIASI AFIFAH HANA ----- x:5, y=6, z=7
 (terdapat pada lampiran 3B)

c SURFACE CARDS*****

c c ----- SURFACE AFIFAH -----

7222 py 276.646

7223 py 276.946

1466 py 316.645

2466 py 321.645

c ----- parafin x -----

450 px 120

451 px 80

452 px 40

453 px 0

454 px -40

455 px -80

456 px -120

457 px 42.5

458 px -42.5

4158 px 45

4154 px -45

4950 px 119.7

4951 px 80.3

49951 px 79.7

4952 px 40.3

49952 px 39.7

4953 px 0.3

49953 px -0.3

4954 px -39.7

49954 px -40.3

4955 px -79.7

49955 px -80.3

4956 px -119.7

4150 px 125

4250 px 130

4156 px -125

c ----- parafin y -----

461 py 215.645

463 py 239.645

464 py 263.645

465 py 287.645

466 py 311.645

467 py 335.645

4167 py 340.645

4166 py 316.645

468 py 276.645

4968 py 276.945

4961 py 215.345

4962 py 191.945

49961 py 215.945

4963 py 239.345

49963 py 239.945

4964 py 263.345

49964 py 263.945

4965 py 287.345

49965 py 287.945

4966 py 311.345

49966 py 311.945

4967 py 335.345

4162 py 231.645

4262 py 271.645

c 1 c/y 0 82.5 9.5

c 14 py -1

c 16 py 0.001

c ----- parafin z -----

471 pz -15.175

472 pz -55.175

473 pz 24.825

474 pz 64.835

475 pz 104.835

476 pz 144.825

477 pz -20.175

4971 pz -15.475

4972 pz -54.875

49971 pz -14.875

4973 pz 24.525

49973 pz 25.125

4974 pz 64.525

4975 pz 104.525

49974 pz 65.135

49975 pz 105.125

4976 pz 144.525

4176 pz 149.825

c -----

c A ring

c -----

89 cz 1.912

c -----

c B ring

c -----

1 c/z 2.032 3.52 1.912

2 c/z -2.032 3.52 1.912

3 c/z -4.064 0 1.912

4 c/z -2.032 -3.52 1.912

5 c/z 2.032 -3.52 1.912

c -----

c C ring

c -----

6 c/z 8.001 0 1.912

7	c/z 6.929 4 1.912	37	c/z 15.334 4.109 1.912
8	c/z 4 6.929 1.912	38	c/z 13.748 7.938 1.912
9	c/z 0 8.001 1.912	39	c/z 11.225 11.225 1.912
10	c/z -4 6.929 1.912	40	c/z 7.938 13.748 1.912
11	c/z -6.929 4 1.912	41	c/z 4.109 15.334 1.912
12	c/z -8.001 0 1.912	43	c/z -4.109 15.334 1.912
14	c/z -4 -6.929 1.912	44	c/z -7.938 13.748 1.912
15	c/z 0 -8.001 1.912	45	c/z -11.225 11.225 1.912
16	c/z 4 -6.929 1.912	46	c/z -13.748 7.938 1.912
c -----		47	c/z -15.334 4.109 1.912
c Control Rod - Shim		48	c/z -15.875 0 1.912
c -----		49	c/z -15.334 -4.109 1.912
95	c/z -6.929 -4 1.55	50	c/z -13.748 -7.938 1.912
96	c/z -6.929 -4 1.6	51	c/z -11.225 -11.225 1.912
175	c/z -6.929 -4 1.912	52	c/z -7.938 -13.748 1.912
160	pz 31.7	53	c/z -4.109 -15.334 1.912
161	pz 31.75	54	c/z 0 -15.875 1.912
163	pz 76.25	55	c/z 4.109 -15.334 1.912
165	pz 83.35	56	c/z 7.938 -13.748 1.912
166	pz 83.4	57	c/z 11.225 -11.225 1.912
c -----		58	c/z 13.748 -7.938 1.912
c Control Rod - Safety		59	c/z 15.334 -4.109 1.912
c -----		c -----	
118	c/z 6.929 -4 1.2	c Control Rod - Regulating	
119	c/z 6.929 -4 1.25	c -----	
178	c/z 6.929 -4 1.912	121	c/z 0 15.875 1.05
167	pz 44.6	122	c/z 0 15.875 1.1
169	pz 89.1	179	c/z 0 15.875 1.912
171	pz 96.2	153	pz 27.9
172	pz 96.25	154	pz 27.95
c -----		156	pz 72.45
c D ring		158	pz 79.55
c -----		159	pz 79.6
18	c/z 11.938 0 1.912	c -----	
19	c/z 11.218 4.083 1.912	c F ring	
20	c/z 9.145 7.674 1.912	c -----	
21	c/z 5.969 10.339 1.912	60	c/z 18.215 8.11 1.912
22	c/z 2.073 11.757 1.912	61	c/z 16.131 11.72 1.912
23	c/z -2.073 11.757 1.912	62	c/z 13.342 14.818 1.912
24	c/z -5.969 10.339 1.912	63	c/z 9.97 17.268 1.912
25	c/z -9.145 7.674 1.912	64	c/z 6.161 18.963 1.912
26	c/z -11.218 4.083 1.912	65	c/z 2.085 19.83 1.912
27	c/z -11.938 0 1.912	66	c/z -2.085 19.83 1.912
28	c/z -11.218 -4.083 1.912	67	c/z -6.161 18.963 1.912
29	c/z -9.145 -7.674 1.912	68	c/z -9.97 17.268 1.912
30	c/z -5.969 -10.339 1.912	69	c/z -13.342 14.818 1.912
31	c/z -2.073 -11.757 1.912	70	c/z -16.131 11.72 1.912
32	c/z 2.073 -11.757 1.912	71	c/z -18.215 8.11 1.912
33	c/z 5.969 -10.339 1.912	72	c/z -19.503 4.146 1.912
34	c/z 9.145 -7.674 1.912	73	c/z -19.939 0 1.912
35	c/z 11.218 -4.083 1.912	74	c/z -19.503 -4.146 1.912
c -----		75	c/z -18.215 -8.11 1.912
c E ring		76	c/z -16.131 -11.72 1.912
c -----		77	c/z -13.342 -14.818 1.912
36	c/z 15.875 0 1.912	78	c/z -9.97 -17.268 1.912

79	c/z -6.161 -18.963 1.912
80	c/z -2.085 -19.83 1.912
81	c/z 2.085 -19.83 1.912
82	c/z 6.161 -18.963 1.912
83	c/z 9.97 -17.268 1.912
84	c/z 13.342 -14.818 1.912
85	c/z 16.131 -11.72 1.912
86	c/z 18.215 -8.11 1.912
87	c/z 19.503 -4.146 1.912
c -----	
c Fuel Element	
c -----	
91	c/z 4.064 0 1.78
92	c/z 4.064 0 1.8
93	c/z 4.064 0 1.85
174	c/z 4.064 0 1.912
227	pz 6.45
104	pz -0.15
105	pz -0.1
106	pz 6.55
107	pz 44.55
108	pz 45.15
109	pz 51.65
110	pz 51.7
c -----	
c Neutron Source	
c -----	
123	c/z -6.161 -18.963 1.12
124	c/z -6.161 -18.963 1.8
125	c/z -6.161 -18.963 1.85
177	c/z -6.161 -18.963 1.912
126	pz 23.1
127	pz 27.95
c -----	
c Dummy	
c -----	
97	c/z 19.503 4.146 1.78
98	c/z 19.503 4.146 1.8
99	c/z 19.503 4.146 1.85
176	c/z 19.503 4.146 1.912
c -----	
c Pneumatic system	
c -----	
100	c/z 19.939 0 1.8
101	c/z 19.939 0 1.85
c -----	
c Aluminum Lattice Plate	
c -----	
191	pz 49.8
195	pz -2.05
c -----	
c Lazy Suzan	
c -----	
180	cz 28.49
181	cz 28.59

182	cz 38.69
183	cz 38.79
184	cz 38.89
185	pz 28.35
186	pz 28.45
187	pz 55.75
188	cz 28.39
190	cz 27
198	cz 27.1
199	pz 51.8
200	pz 51.9
133	pz 55.85
c -----	
c Core Sit	
c -----	
201	px 25
202	px 35
203	px -25
204	px -35
205	py 25
206	py 35
207	py -25
208	py -35
209	c/z 30 30 4
210	c/z -30 30 4
211	c/z 30 -30 4
212	c/z -30 -30 4
213	pz -10.05
c -----	
c Radial Graphite	
c -----	
102	cz 22.25
218	cz 22.75
173	cz 50.645
219	cz 50.145
220	pz 51.2
221	pz -1.55
215	cz 27.89
222	cz 39.19
223	pz 27.85
c -----	
c Reactor Pool	
c -----	
189	cz 98.5
192	cz 99.77
214	pz -60.15
194	pz -60.42
103	cz 51.145
c -----	
c Thermal Column	
c -----	
111	px -37.442
112	px 37.442
113	p 1 1 0 0
114	p -1 1 0 0

```

115    py 210.825
116    py 30
c -----
c Coat
c -----
230    cz 51.645
228    cz 51.6450001
129    px -37.762
130    px 37.762
131    p 1 1 0 -0.45255
132    p -1 1 0 -0.45255
134    px -39.003
135    px 39.003
136    p 1 1 0 -1.79605
137    p -1 1 0 -1.79605
139    pz -9.93
140    pz -9.61
141    pz 59.26
142    pz 59.58
143    pz 60.85
217    pz -11.2
c -----
c Collimator
c -----
144    k/y 0 180.5 26.3 0.08 -1
149    py 191.645
145    c/y 0 26.3 22
146    c/y 0 26.3 27
148    cz 51.6450002
150    py 151.644
147    py 151.645
232    py 114.645
233    py 91.645
234    py 81.645
237    py 101.645
239    c/y 0 26.3 8
236    py 148.645
151    py 146.645
241    pz 41.3
242    pz 11.3
243    px 15
244    px -15
245    py 191.646
247    py 188.645
248    pz 44.3
249    pz 8.3
250    px 18
251    px -18
252    py 185.645
253    pz 47.3
254    pz 5.3
255    px 21
256    px -21
c -----
c Concrete

```

```

c -----
196    cz 230
197    pz -70.15
c -----
c Beam Port
c -----
224    1 c/x 0 15 7.5
225    1 c/x 0 15 8
226    py 0

```

```

c -----
c k/y 0 25.825
c -----

c -----
c Tally
c -----

mode n p
c -----
c Data Cards *****
c -----
c -----
c Materials
c -----
c Water 1g/cc
c -----
m1 1001.      2
   8016.      1
mt1 lwtr
c -----
c SS-304 Cladding
c -----
m2 24000.     -0.19
   26000.     -0.695 28000.     -0.095 25055.     -0.02
c -----
c Aluminum
c -----
m3 13027.     -1 $MAT3
c -----
c Fuel Uranium
c -----
m4 92238.     -0.068
   92235.     -0.017 40000.     -0.9 1001.     -0.015
c -----
c Graphite
c -----
m5 6000.      -1
mt5 grph
c -----
c Helium
c -----
m6 2004.      -1
c -----
c Boron Carbide
c -----
m7 5010.      -0.145
   5011.      -0.638 6012.      -0.217
c -----
c Air
c -----
m8 7014.      -0.778
   7015.      -0.003 8016.      -0.209 18000.     -0.01
c -----
c Ambe
c -----

```

```

m9  95241.      -0.964
    4009.      -0.036
c  -----
c  Boral
c  -----
m10 5010.      -0.078
    5011.      -0.313 6012.      -0.109 13027.      -0.5
c  -----
c  Ni-60
c  -----
m13 28060.61c  -0.995
    28058.61c  -0.005
c  -----
c  Barite Concrete -3.35 g/cc
c  -----
m14 1001.      -0.004 $MAT14
    8016.      -0.312 12000.      -0.001 13027.      -0.004
    14000.     -0.01 16032.      -0.108 20000.      -0.05
    26000.     -0.048 56138.      -0.463
c  -----
c  molybdenum
c  -----
m15 42000.      -1
c  -----
c  Ni- Nat
c  -----
m17 28000.      -1
c  -----
c  li2co3-poly
c  -----
m19 3006.      -0.083
    6000.      -0.512 8016.      -0.333 1001.      -0.072
c  -----
c  Bismuth
c  -----
m20 83209.      -1
c  -----
c  Sulfur
c  -----
m21 16032. -1
c  -----
c m22 ICRP reference man -1.04 g/cc
m22 1001.      -0.10454 $MAT22
    6012.      -0.22663 7014.      -0.0249 8016.      -0.63525
    11023.     -0.00112 12000.      -0.00013 14000.      -0.0003
    15031.     -0.00134 16032.      -0.00204 17000.      -0.00133
    19000.     -0.00208 20000.      -0.00024 26000.      -5e-005
    26000.     -5e-005 30000.      -3e-005 37087.      -1e-005
    40000.     -1e-005
c m23 Parafin -0,93 g/cc
m23 1001 -0.148605 6012 -0.851395
c m24 Polietilene terborasi -1 g/cc
m24 1001 -0.125355 5000 -0.100000 6000 -0.774645
c m25 Stainless steel 304 -8 g/cc
m25 6000 -0.000400 14000 -0.005000 15031 -0.000230 &

```

```

16000 -0.000150 24000 -0.190000 25055 -0.010000 &
28000 -0.092500
c m26 LiF -2.635
m26 9019. -0.732415 $MAT26
3007. -0.267585
m30 82000 -1.000 $Pb
c Transformation
c -----
tr1 0 0 0 0.88862 0 0 0.45865 0.88862 0 0 0 1
c -----
c Source initiation
phys:p 100 0 0 1 0
c -----
nps 100000000
ssr old 228
c -----
c Tally
c -----
fl4:n 8111 8112 8113 8114
fm14 7.553e15
e14 0.5 1 2.5 20
de14 3.6E-7 6.3E-7 1.1E-6 2E-6 3.6E-6
6.3e-6 1.1E-5 2E-5 3.6E-5 6.3E-5
1.1e-4 2E-4 3.6E-4 6.3e-4 1.1e-3
2e-3 3.6e-3 6.3e-3 0.011 0.02
0.036 0.063 0.082 0.086 0.09
0.094 0.098 0.105 0.115 0.125
0.135 0.145 0.155 0.165 0.175
0.185 0.195 0.21 0.23 0.25
0.27 0.29 0.31 0.33 0.35
0.37 0.39 0.42 0.46 0.5
0.54 0.58 0.62 0.66 0.7
0.74 0.78 0.82 0.86 0.9
0.94 0.98 1.05 1.15 1.25
1.35 1.45 1.55 1.65 1.75
1.85 1.95 2.1 2.3 2.5
2.7 2.9 3.1 3.3 3.5
3.7 3.9 4.2 4.6 5
5.4 5.8 6.2 6.6 7
7.4 7.8 8.2 8.6 9
9.4 9.8 10.5 11.5 12.5
13.5 14.5 16.0 18.0 20
df14 5.06E-14 3.84e-14 2.91e-14 2.17e-14 1.64e-14
1.28e-14 1.03e-14 8.92e-15 8.87e-15 1.05e-14
1.45e-14 2.33e-14 3.97e-14 6.78E-14 1.17e-13
2.1e-13 3.73e-13 6.42e-13 1.09e-12 1.09e-12
1.88e-12 3.11e-12 4.82e-12 5.86e-12 6.05e-12
6.24e-12 6.44e-12 6.62e-12 6.92e-12 7.35e-12
7.76e-12 8.13e-12 8.50e-12 8.86e-12 9.19e-12
9.51e-12 9.83e-12 1.01e-11 1.06e-11 1.11e-11
1.16e-11 1.21e-11 1.27e-11 1.31e-11 1.36e-11
1.41e-11 1.46e-11 1.52e-11 1.66e-11 1.64e-11
1.65e-11 1.71e-11 1.77e-11 1.83e-11 1.89e-11
1.95e-11 2e-11 2.06e-11 2.11e-11 2.16e-11
2.23e-11 2.33e-11 2.5e-11 2.52e-11 2.52e-11

```


2.63e-11 2.71e-11 2.76e-11 2.83e-11 2.94e-11
 2.99e-11 3.12e-11 3.13e-11 3.24e-11 3.29e-11
 3.44e-11 3.59e-11 3.75e-11 3.85e-11 4.19e-11
 4.29e-11 4.4e-11 4.33e-11 4.43e-11 4.43e-11
 4.68e-11 4.57e-11 4.77e-11 4.92e-11 5.07e-11
 5.19e-11 5.42e-11 5.47e-11 5.41e-11 5.56e-11
 5.66e-11 5.83e-11 5.96e-11 6.01e-11 6.38e-11
 6.54e-11 6.61e-11 6.77e-11 6.95e-11 7.04e-11
 f24:p 8111 8112 8113 8114
 fm24 3.121e15
 de24 0.001 0.0015 0.002 0.003 0.004 0.005 0.006
 0.008 0.01 0.015 0.02 0.03 0.04 0.05
 0.06 0.08 0.1 0.15 0.2 0.3 0.4
 0.5 0.6 0.8 1 1.25 1.5 2
 3 4 5 6 8 10 15
 20
 df24 5.63e-10 2.83e-10 1.68e-10 8.07e-11 4.7e-11
 3.02e-11 2.09e-11 1.16e-11 7.24e-12 3.04e-12
 1.64e-12 7.02e-13 4.23e-13 3.25e-13 2.98e-13
 3.27e-13 4.03e-13 6.61e-13 9.43e-13 1.52e-12
 2.09e-12 2.62e-12 3.13e-12 4.08e-12 4.93e-12
 5.89e-12 6.76e-12 8.29e-12 1.09e-11 1.31e-11
 1.52e-11 1.71e-11 2.09e-11 2.47e-11 3.39e-11
 4.33e-11

D. Geometri Shielding

c -----PERISAI RADIASI AFIFAH HANA ----- x:5, y=6, z=7
 c ----- lantai 1 baris 1 ----- x berubah
 c ----- KOLOM UDARA -----
 2222 8 -0.001205 -452 454 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c atas
 777 3 -2.473 474 -49974 -452 454 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c bawah
 776 3 -2.473 -452 454 245 -7222 -471 4971 imp:n=1 imp:p=1
 c depan
 775 3 -2.473 -452 454 471 -474 -7223 7222 imp:n=1 imp:p=1
 c kanan
 774 3 -2.473 -454 49954 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 1101 23 -0.93 -4150 4156 245 -4167 -4176 197 #2222 &
 #201 #9201 #202 #9202 #211 #9211 #212 #9212 #221 #9221 #222 #9222 &
 #231 #9231 #232 #9232 #241 #9241 #242 #9242 #301 #9301 #302 #9302 &
 #311 #9311 #312 #9312 #321 #9321 #322 #9322 #331 #9331 #332 #9332 &
 #341 #9341 #342 #9342 #8111 #8112 #8113 #8114 #777 #776 #775 &
 #774 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 2 baris 1 ----- z berubah
 201 3 -2.473 -450 451 -461 245 471 -473 #9201 imp:n=1 imp:p=1
 9201 23 -0.93 -4950 4951 -4961 4962 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
 202 3 -2.473 -451 452 -461 245 471 -473 #9202 imp:n=1 imp:p=1
 9202 23 -0.93 -49951 4952 -4961 4962 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 2 baris 2 ----- z berubah
 211 3 -2.473 -450 451 -463 461 471 -473 #9211 imp:n=1 imp:p=1
 9211 23 -0.93 -4950 4951 49961 -4963 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
 212 3 -2.473 -451 452 -463 461 471 -473 #9212 imp:n=1 imp:p=1

9212 23 -0.93 -49951 4952 49961 -4963 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 2 baris 3 ----- z berubah
 221 3 -2.473 -450 451 463 -464 471 -473 #9221 imp:n=1 imp:p=1
 9221 23 -0.93 -4950 4951 -4964 49963 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
 222 3 -2.473 -451 452 463 -464 471 -473 #9222 imp:n=1 imp:p=1
 9222 23 -0.93 -49951 4952 -4964 49963 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 2 baris 4 ----- y berubah
 231 3 -2.473 -450 451 464 -465 471 -473 #9231 imp:n=1 imp:p=1
 9231 23 -0.93 -4950 4951 -4965 49964 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
 232 3 -2.473 -451 452 464 -465 471 -473 #9232 imp:n=1 imp:p=1
 9232 23 -0.93 -49951 4952 -4965 49964 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 2 baris 5 ----- y berubah
 241 3 -2.473 -450 451 465 -466 471 -473 #9241 imp:n=1 imp:p=1
 9241 23 -0.93 -4950 4951 49965 -4966 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
 242 3 -2.473 -451 452 465 -466 471 -473 #9242 imp:n=1 imp:p=1
 9242 23 -0.93 -49951 4952 49965 -4966 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 1 ----- z berubah
 301 3 -2.473 -450 451 -461 245 -474 473 #9301 imp:n=1 imp:p=1
 9301 23 -0.93 -4950 4951 -4961 4962 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 302 3 -2.473 -451 452 -461 245 473 -474 #9302 imp:n=1 imp:p=1
 9302 23 -0.93 -49951 4952 -4961 4962 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 2 ----- z berubah
 311 3 -2.473 -450 451 -463 461 -474 473 #9311 imp:n=1 imp:p=1
 9311 23 -0.93 -4950 4951 49961 -4963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 312 3 -2.473 -451 452 -463 461 -474 473 #9312 imp:n=1 imp:p=1
 9312 23 -0.93 -49951 4952 49961 -4963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 3 ----- z berubah
 321 3 -2.473 -450 451 463 -464 -474 473 #9321 imp:n=1 imp:p=1
 9321 23 -0.93 -4950 4951 -4964 49963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 322 3 -2.473 -451 452 463 -464 -474 473 #9322 imp:n=1 imp:p=1
 9322 23 -0.93 -49951 4952 -4964 49963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 4 ----- y berubah
 331 3 -2.473 -450 451 464 -465 -474 473 #9331 imp:n=1 imp:p=1
 9331 23 -0.93 -4950 4951 -4965 49964 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 332 3 -2.473 -451 452 464 -465 -474 473 #9332 imp:n=1 imp:p=1
 9332 23 -0.93 -49951 4952 -4965 49964 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 5 ----- y berubah
 341 3 -2.473 -450 451 465 -466 -474 473 #9341 imp:n=1 imp:p=1
 9341 23 -0.93 -4950 4951 49965 -4966 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 342 3 -2.473 -451 452 465 -466 -474 473 #9342 imp:n=1 imp:p=1
 9342 23 -0.93 -49951 4952 49965 -4966 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 5 baris 1 ----- x berubah
 8111 22 -1 450 -4150 245 -4162 471 -474 imp:n=1 imp:p=1
 8112 22 -1 450 -4150 4162 -4262 471 -474 imp:n=1 imp:p=1
 8113 22 -1 450 -4150 4262 -466 471 -474 imp:n=1 imp:p=1
 8114 22 -1 466 -1466 -4150 452 471 -474 imp:n=1 imp:p=1
 C -----
 C -----
 1101 23 -0.93 -4150 4156 245 -4167 -4176 197 &
 #205 #9205 #206 #9206 #215 #9215 #216 #9216 #225 #9225 #226 #9226 &
 #235 #9235 #236 #9236 #245 #9245 #246 #9246 #305 #9305 #306 #9306 &
 #315 #9315 #316 #9316 #325 #9325 #326 #9326 #335 #9335 #336 #9336 &
 #345 #9345 #346 #9346 &
 #2222 #8211 #8212 #8213 #8214 &
 #777 #776 #775 #774 imp:n=1 imp:p=1

c ----- lantai 1 baris 1 ----- x berubah
c ----- KOLOM UDARA -----
2222 8 -0.001205 -452 454 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c atas
777 3 -2.473 474 -49974 -452 454 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
c bawah
776 3 -2.473 -452 454 245 -7222 -471 4971 imp:n=1 imp:p=1
c depan
775 3 -2.473 -452 454 471 -474 -7223 7222 imp:n=1 imp:p=1
c kiri
774 3 -2.473 452 -4952 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c 450 -4150 245 -4162 471 -476
8211 22 -1 4156 -456 245 -4162 -474 471 imp:n=1 imp:p=1
8212 22 -1 4156 -456 4162 -4262 -474 471 imp:n=1 imp:p=1
8213 22 -1 4156 -456 4262 -466 -474 471 imp:n=1 imp:p=1
8214 22 -1 -454 4156 -499 466 -474 471 imp:n=1 imp:p=1
c 8114 22 -1 466 -1466 -4150 452 471 -474 imp:n=1 imp:p=1
c 8214 22 -1 452 -4150 476 -4176 245 -466 imp:n=1 imp:p=1
c 8215 22 -1 452 -4150 466 -4166 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c -----PERISAI RADIASI AFIFAH HANA ----- x:5, y=6, z=7
c ----- lantai 2 baris 1 ----- z berubah
205 3 -2.473 -454 455 -461 245 471 -473 #9205 imp:n=1 imp:p=1
9205 23 -0.93 -49954 4955 -4961 4962 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
206 3 -2.473 -455 456 -461 245 471 -473 #9206 imp:n=1 imp:p=1
9206 23 -0.93 -49955 4956 -4961 4962 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 2 baris 2 ----- z berubah
215 3 -2.473 -454 455 -463 461 471 -473 #9215 imp:n=1 imp:p=1
9215 23 -0.93 -49954 4955 49961 -4963 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
216 3 -2.473 -455 456 -463 461 471 -473 #9216 imp:n=1 imp:p=1
9216 23 -0.93 -49955 4956 49961 -4963 49971 -4973 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 2 baris 3 ----- z berubah
225 3 -2.473 -454 455 463 -464 471 -473 #9225 imp:n=1 imp:p=1
9225 23 -0.93 -49954 4955 -4964 49963 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
226 3 -2.473 -455 456 463 -464 471 -473 #9226 imp:n=1 imp:p=1
9226 23 -0.93 -49955 4956 -4964 49963 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 2 baris 4 ----- y berubah
235 3 -2.473 -454 455 464 -465 471 -473 #9235 imp:n=1 imp:p=1
9235 23 -0.93 -49954 4955 -4965 49964 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
236 3 -2.473 -455 456 464 -465 471 -473 #9236 imp:n=1 imp:p=1
9236 23 -0.93 -49955 4956 -4965 49964 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 2 baris 5 ----- y berubah
245 3 -2.473 -454 455 465 -466 471 -473 #9245 imp:n=1 imp:p=1
9245 23 -0.93 -49954 4955 49965 -4966 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
246 3 -2.473 -455 456 465 -466 471 -473 #9246 imp:n=1 imp:p=1
9246 23 -0.93 -49955 4956 49965 -4966 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 3 baris 1 ----- z berubah
305 3 -2.473 -454 455 -461 245 -474 473 #9305 imp:n=1 imp:p=1
9305 23 -0.93 -49954 4955 -4961 4962 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
306 3 -2.473 -455 456 -461 245 -474 473 #9306 imp:n=1 imp:p=1
9306 23 -0.93 -49955 4956 -4961 4962 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 3 baris 2 ----- z berubah
315 3 -2.473 -454 455 -463 461 -474 473 #9315 imp:n=1 imp:p=1

9315 23 -0.93 -49954 4955 49961 -4963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 316 3 -2.473 -455 456 -463 461 -474 473 #9316 imp:n=1 imp:p=1
 9316 23 -0.93 -49955 4956 49961 -4963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 3 ----- z berubah
 325 3 -2.473 -454 455 463 -464 -474 473 #9325 imp:n=1 imp:p=1
 9325 23 -0.93 -49954 4955 -4964 49963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 326 3 -2.473 -455 456 463 -464 -474 473 #9326 imp:n=1 imp:p=1
 9326 23 -0.93 -49955 4956 -4964 49963 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 4 ----- y berubah
 335 3 -2.473 -454 455 464 -465 -474 473 #9335 imp:n=1 imp:p=1
 9335 23 -0.93 -49954 4955 -4965 49964 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 336 3 -2.473 -455 456 464 -465 -474 473 #9336 imp:n=1 imp:p=1
 9336 23 -0.93 -49955 4956 -4965 49964 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 3 baris 5 ----- y berubah
 345 3 -2.473 -454 455 465 -466 -474 473 #9345 imp:n=1 imp:p=1
 9345 23 -0.93 -49954 4955 49965 -4966 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 346 3 -2.473 -455 456 465 -466 -474 473 #9346 imp:n=1 imp:p=1
 9346 23 -0.93 -49955 4956 49965 -4966 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
 C -----
 C -----
 1101 23 -0.93 -4150 4156 245 -4267 -4176 197 &
 #401 #9401 #402 #9402 #411 #9411 #412 #9412 #421 #9421 &
 #422 #9422 #431 #9431 #432 #9432 #441 #9441 #442 #9442 &
 #501 #9501 #502 #9502 #511 #9511 #512 #9512 #521 #9521 &
 #522 #9522 #531 #9531 #532 #9532 #541 #9541 #542 #9542 &
 #2222 #8211 #8212 #8213 #8214 #8215 &
 #777 #776 #775 #774 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 1 baris 1 ----- x berubah
 c ----- KOLOM UDARA -----
 2222 8 -0.001205 -452 454 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c atas
 777 3 -2.473 474 -49974 -452 454 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c bawah
 776 3 -2.473 -452 454 245 -7222 -471 4971 imp:n=1 imp:p=1
 c depan
 775 3 -2.473 -452 454 471 -474 -7223 7222 imp:n=1 imp:p=1
 c kiri
 774 3 -2.473 452 -4952 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c 450 -4150 245 -4162 471 -476
 8211 22 -1 450 -4150 245 -4162 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
 8212 22 -1 450 -4150 4162 -4262 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
 8213 22 -1 450 -4150 4262 -466 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
 8214 22 -1 452 -4150 476 -4176 245 -466 imp:n=1 imp:p=1
 8215 22 -1 452 -4150 466 -4166 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 401 3 -2.473 -450 451 -461 245 -475 474 #9401 imp:n=1 imp:p=1
 9401 23 -0.93 -4950 4951 -4961 4962 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 402 3 -2.473 -451 452 -461 245 -475 474 #9402 imp:n=1 imp:p=1
 9402 23 -0.93 -49951 4952 -4961 4962 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 411 3 -2.473 -450 451 -463 461 -475 474 #9411 imp:n=1 imp:p=1
 9411 23 -0.93 -4950 4951 49961 -4963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 412 3 -2.473 -451 452 -463 461 -475 474 #9412 imp:n=1 imp:p=1
 9412 23 -0.93 -49951 4952 49961 -4963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1

421 3 -2.473 -450 451 463 -464 -475 474 #9421 imp:n=1 imp:p=1
 9421 23 -0.93 -4950 4951 -4964 49963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 422 3 -2.473 -451 452 463 -464 -475 474 #9422 imp:n=1 imp:p=1
 9422 23 -0.93 -49951 4952 -4964 49963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 431 3 -2.473 -450 451 464 -465 -475 474 #9431 imp:n=1 imp:p=1
 9431 23 -0.93 -4950 4951 -4965 49964 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 432 3 -2.473 -451 452 464 -465 -475 474 #9432 imp:n=1 imp:p=1
 9432 23 -0.93 -49951 4952 -4965 49964 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 441 3 -2.473 -450 451 465 -466 -475 474 #9441 imp:n=1 imp:p=1
 9441 23 -0.93 -4950 4951 49965 -4966 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 442 3 -2.473 -451 452 465 -466 -475 474 #9442 imp:n=1 imp:p=1
 9442 23 -0.93 -49951 4952 49965 -4966 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 501 3 -2.473 -450 451 -461 245 -476 475 #9501 imp:n=1 imp:p=1
 9501 23 -0.93 -4950 4951 -4961 4962 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 502 3 -2.473 -451 452 -461 245 -476 475 #9502 imp:n=1 imp:p=1
 9502 23 -0.93 -49951 4952 -4961 4962 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 511 3 -2.473 -450 451 -463 461 -476 475 #9511 imp:n=1 imp:p=1
 9511 23 -0.93 -4950 4951 49961 -4963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 512 3 -2.473 -451 452 -463 461 -476 475 #9512 imp:n=1 imp:p=1
 9512 23 -0.93 -49951 4952 49961 -4963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 521 3 -2.473 -450 451 463 -464 -476 475 #9521 imp:n=1 imp:p=1
 9521 23 -0.93 -4950 4951 -4964 49963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 522 3 -2.473 -451 452 463 -464 -476 475 #9522 imp:n=1 imp:p=1
 9522 23 -0.93 -49951 4952 -4964 49963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 531 3 -2.473 -450 451 464 -465 -476 475 #9531 imp:n=1 imp:p=1
 9531 23 -0.93 -4950 4951 -4965 49964 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 532 3 -2.473 -451 452 464 -465 -476 475 #9532 imp:n=1 imp:p=1
 9532 23 -0.93 -49951 4952 -4965 49964 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 541 3 -2.473 -450 451 465 -466 -476 475 #9541 imp:n=1 imp:p=1
 9541 23 -0.93 -4950 4951 49965 -4966 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 542 3 -2.473 -451 452 465 -466 -476 475 #9542 imp:n=1 imp:p=1
 9542 23 -0.93 -49951 4952 49965 -4966 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 C -----
 C -----
 1101 23 -0.93 -4150 4156 245 -4167 -4176 197 &
 #405 #9405 #406 #9406 #415 #9415 #416 #9416 #425 #9425 #426 #9426 &
 #435 #9435 #436 #9436 #445 #9445 #446 #9446 #505 #9505 #506 #9506 &
 #515 #9515 #516 #9516 #525 #9525 #526 #9526 #535 #9535 #536 #9536 &
 #545 #9545 #546 #9546 #8224 #8225 &
 #2222 #8211 #8212 #8213 #8214 #8215 &
 #777 #776 #775 #774 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 1 baris 1 ----- x berubah
 c ----- KOLOM UDARA -----
 2222 8 -0.001205 -452 454 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c atas
 777 3 -2.473 474 -49974 -452 454 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c bawah
 776 3 -2.473 -452 454 245 -7222 -471 4971 imp:n=1 imp:p=1
 c depan
 775 3 -2.473 -452 454 471 -474 -7223 7222 imp:n=1 imp:p=1
 c kanan
 774 3 -2.473 454 -455 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----PB-----
 8224 22 -1 4156 -454 476 -4176 245 -466 imp:n=1 imp:p=1

8225 22 -1 4156 -454 466 -4166 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c 450 -4150 245 -4162 471 -476
8211 22 -1 4156 -456 245 -4162 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
8212 22 -1 4156 -456 4162 -4262 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
8213 22 -1 4156 -456 4262 -466 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
8214 22 -1 4156 -454 -4276 4176 245 -466 imp:n=1 imp:p=1
8215 22 -1 4156 -454 -4266 4166 474 -476 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c ----- lantai 4 baris 1 ----- x berubah
405 3 -2.473 -454 455 -461 245 -475 474 #9405 imp:n=1 imp:p=1
9405 23 -0.93 -49954 4955 -4961 4962 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
406 3 -2.473 -455 456 -461 245 -475 474 #9406 imp:n=1 imp:p=1
9406 23 -0.93 -49955 4956 -4961 4962 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 4 baris 2 ----- y berubah
415 3 -2.473 -454 455 -463 461 -475 474 #9415 imp:n=1 imp:p=1
9415 23 -0.93 -49954 4955 49961 -4963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
416 3 -2.473 -455 456 -463 461 -475 474 #9416 imp:n=1 imp:p=1
9416 23 -0.93 -49955 4956 49961 -4963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 4 baris 3 ----- y berubah
425 3 -2.473 -454 455 463 -464 -475 474 #9425 imp:n=1 imp:p=1
9425 23 -0.93 -49954 4955 -4964 49963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
426 3 -2.473 -455 456 463 -464 -475 474 #9426 imp:n=1 imp:p=1
9426 23 -0.93 -49955 4956 -4964 49963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 4 baris 4 ----- y berubah
435 3 -2.473 -454 455 464 -465 -475 474 #9435 imp:n=1 imp:p=1
9435 23 -0.93 -49954 4955 -4965 49964 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
436 3 -2.473 -455 456 464 -465 -475 474 #9436 imp:n=1 imp:p=1
9436 23 -0.93 -49955 4956 -4965 49964 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 4 baris 5 ----- y berubah
445 3 -2.473 -454 455 465 -466 -475 474 #9445 imp:n=1 imp:p=1
9445 23 -0.93 -49954 4955 49965 -4966 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
446 3 -2.473 -455 456 465 -466 -475 474 #9446 imp:n=1 imp:p=1
9446 23 -0.93 -49955 4956 49965 -4966 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 5 baris 1 ----- x berubah
505 3 -2.473 -454 455 -461 245 -476 475 #9505 imp:n=1 imp:p=1
9505 23 -0.93 -49954 4955 -4961 4962 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
506 3 -2.473 -455 456 -461 245 -476 475 #9506 imp:n=1 imp:p=1
9506 23 -0.93 -49955 4956 -4961 4962 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 5 baris 2 ----- y berubah
515 3 -2.473 -454 455 -463 461 -476 475 #9515 imp:n=1 imp:p=1
9515 23 -0.93 -49954 4955 49961 -4963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
516 3 -2.473 -455 456 -463 461 -476 475 #9516 imp:n=1 imp:p=1
9516 23 -0.93 -49955 4956 49961 -4963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 5 baris 3 ----- y berubah
525 3 -2.473 -454 455 463 -464 -476 475 #9525 imp:n=1 imp:p=1
9525 23 -0.93 -49954 4955 -4964 49963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
526 3 -2.473 -455 456 463 -464 -476 475 #9526 imp:n=1 imp:p=1
9526 23 -0.93 -49955 4956 -4964 49963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 5 baris 4 ----- y berubah
535 3 -2.473 -454 455 464 -465 -476 475 #9535 imp:n=1 imp:p=1
9535 23 -0.93 -49954 4955 -4965 49964 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
536 3 -2.473 -455 456 464 -465 -476 475 #9536 imp:n=1 imp:p=1
9536 23 -0.93 -49955 4956 -4965 49964 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 5 baris 5 ----- y berubah

545 3 -2.473 -454 455 465 -466 -476 475 #9545 imp:n=1 imp:p=1
 9545 23 -0.93 -49954 4955 49965 -4966 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 546 3 -2.473 -455 456 465 -466 -476 475 #9546 imp:n=1 imp:p=1
 9546 23 -0.93 -49955 4956 49965 -4966 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 C -----
 C -----
 2222 8 -0.001205 -452 454 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c atas
 c 777 3 -2.473 474 -49974 -452 454 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c bawah
 776 3 -2.473 -452 454 245 -7222 -471 4971 imp:n=1 imp:p=1
 c depan
 775 3 -2.473 -452 454 471 -474 -7223 7222 imp:n=1 imp:p=1
 c kanan
 774 3 -2.473 -454 49954 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c kiri
 773 3 -2.473 452 -4952 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 1101 23 -0.93 -4150 4156 245 -4167 -4176 197 #2222 &
 #403 #9403 #404 #9404 #413 #414 #9414 #423 #9423 &
 #424 #9424 #433 #9433 #434 #9434 #443 #444 #9444 &
 #503 #9503 #504 #9504 #513 #9513 #514 #9514 #523 &
 #9523 #524 #9524 #533 #9533 #534 #9534 #9443 #543 #9543 &
 #544 #9544 #604 #9604 #605 #9605 #704 #9704 #705 #9413 #9705 &
 #811 #812 #813 #776 #775 #774 #773 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 4 baris 1 ----- x berubah
 403 3 -2.473 -452 453 -461 245 -475 474 #9403 imp:n=1 imp:p=1
 9403 23 -0.93 -49952 4953 -4961 4962 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 404 3 -2.473 -453 454 -461 245 -475 474 #9404 imp:n=1 imp:p=1
 9404 23 -0.93 -49953 4954 -4961 4962 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 4 baris 2 ----- y berubah
 413 3 -2.473 -452 453 -463 461 -475 474 #9413 imp:n=1 imp:p=1
 9413 23 -0.93 -49952 4953 49961 -4963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 414 3 -2.473 -453 454 -463 461 -475 474 #9414 imp:n=1 imp:p=1
 9414 23 -0.93 -49953 4954 49961 -4963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 4 baris 3 ----- y berubah
 423 3 -2.473 -452 453 463 -464 -475 474 #9423 imp:n=1 imp:p=1
 9423 23 -0.93 -49952 4953 -4964 49963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 424 3 -2.473 -453 454 463 -464 -475 474 #9424 imp:n=1 imp:p=1
 9424 23 -0.93 -49953 4954 -4964 49963 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 4 baris 4 ----- y berubah
 433 3 -2.473 -452 453 464 -465 -475 474 #9433 imp:n=1 imp:p=1
 9433 23 -0.93 -49952 4953 -4965 49964 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 434 3 -2.473 -453 454 464 -465 -475 474 #9434 imp:n=1 imp:p=1
 9434 23 -0.93 -49953 4954 -4965 49964 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 4 baris 5 ----- y berubah
 443 3 -2.473 -452 453 465 -466 -475 474 #9443 imp:n=1 imp:p=1
 9443 23 -0.93 -49952 4953 49965 -4966 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 444 3 -2.473 -453 454 465 -466 -475 474 #9444 imp:n=1 imp:p=1
 9444 23 -0.93 -49953 4954 49965 -4966 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 5 baris 1 ----- x berubah
 503 3 -2.473 -452 453 -461 245 -476 475 #9503 imp:n=1 imp:p=1
 9503 23 -0.93 -49952 4953 -4961 4962 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 504 3 -2.473 -453 454 -461 245 -476 475 #9504 imp:n=1 imp:p=1

9504 23 -0.93 -49953 4954 -4961 4962 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 5 baris 2 ----- y berubah
 513 3 -2.473 -452 453 -463 461 -476 475 #9513 imp:n=1 imp:p=1
 9513 23 -0.93 -49952 4953 49961 -4963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 514 3 -2.473 -453 454 -463 461 -476 475 #9514 imp:n=1 imp:p=1
 9514 23 -0.93 -49953 4954 49961 -4963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 5 baris 3 ----- y berubah
 523 3 -2.473 -452 453 463 -464 -476 475 #9523 imp:n=1 imp:p=1
 9523 23 -0.93 -49952 4953 -4964 49963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 524 3 -2.473 -453 454 463 -464 -476 475 #9524 imp:n=1 imp:p=1
 9524 23 -0.93 -49953 4954 -4964 49963 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 5 baris 4 ----- y berubah
 533 3 -2.473 -452 453 464 -465 -476 475 #9533 imp:n=1 imp:p=1
 9533 23 -0.93 -49952 4953 -4965 49964 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 534 3 -2.473 -453 454 464 -465 -476 475 #9534 imp:n=1 imp:p=1
 9534 23 -0.93 -49953 4954 -4965 49964 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- lantai 5 baris 5 ----- y berubah
 543 3 -2.473 -452 453 465 -466 -476 475 #9543 imp:n=1 imp:p=1
 9543 23 -0.93 -49952 4953 49965 -4966 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 544 3 -2.473 -453 454 465 -466 -476 475 #9544 imp:n=1 imp:p=1
 9544 23 -0.93 -49953 4954 49965 -4966 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- bagian depan -----
 c y setelah 120, x 0 s.d 40, 0 s.d -40, z 0 s.d 200 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c --- sama dg baris 5 bagian 3 beda y-----
 604 3 -2.473 -452 453 466 -467 -475 474 #9604 imp:n=1 imp:p=1
 9604 23 -0.93 -49952 4953 49966 -4967 -4975 49974 imp:n=1 imp:p=1
 605 3 -2.473 -452 453 466 -467 -476 475 #9605 imp:n=1 imp:p=1
 9605 23 -0.93 -49952 4953 49966 -4967 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c --- sama dg baris 5 bagian 4, y sama dg atas -----
 704 3 -2.473 -453 454 466 -467 -475 474 #9704 imp:n=1 imp:p=1
 9704 23 -0.93 -49953 4954 49966 -4967 -4975 4974 imp:n=1 imp:p=1
 705 3 -2.473 -453 454 466 -467 -476 475 #9705 imp:n=1 imp:p=1
 9705 23 -0.93 -49953 4954 49966 -4967 -4976 49975 imp:n=1 imp:p=1
 c ----- DETEKTOR -----
 811 22 -1 -4167 467 -4176 474 -452 454 imp:n=1 imp:p=1
 812 22 -1 -4176 476 -467 464 -452 454 imp:n=1 imp:p=1
 813 22 -1 -4176 476 245 -464 -452 454 imp:n=1 imp:p=1
 C -----
 C -----
 c ----- KOLOM UDARA -----
 2222 8 -0.001205 -452 454 471 -474 245 -7222 &
 #233 #9233 #234 #9234 #243 #9243 #244 #9244 #333 #9333 &
 #334 #9334 #343 #9343 #344 #9344 imp:n=1 imp:p=1
 c -----
 c ----- detektor -----
 1888 22 -1 -4167 467 -452 454 -474 471 imp:n=1 imp:p=1
 c atas
 777 3 -2.473 474 -49974 -452 454 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
 c bawah
 776 3 -2.473 -452 454 245 -7222 -471 4971 imp:n=1 imp:p=1
 c depan
 c 775 3 -2.473 -452 454 471 -474 -7223 7222 imp:n=1 imp:p=1
 c kanan
 774 3 -2.473 -454 49954 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1

c kiri
773 3 -2.473 452 -4952 471 -474 245 -7222 imp:n=1 imp:p=1
c -----
1101 23 -0.93 -4150 4156 245 -4167 -4176 197 #2222 &
#233 #9233 #234 #9234 #243 #9243 #244 #9244 #333 #9333 &
#334 #9334 #343 #9343 #344 #9344 #777 #776 #774 &
#773 #602 #9602 #603 #9603 &
#702 #9702 #703 #9703 #1888 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 2 baris 4 ----- y berubah
233 3 -2.473 -452 453 468 -465 471 -473 #9233 imp:n=1 imp:p=1
9233 23 -0.93 -49952 4953 -4965 4968 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
234 3 -2.473 -453 454 468 -465 471 -473 #9234 imp:n=1 imp:p=1
9234 23 -0.93 -49953 4954 -4965 4968 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 2 baris 5 ----- y berubah
243 3 -2.473 -452 453 465 -466 471 -473 #9243 imp:n=1 imp:p=1
9243 23 -0.93 -49952 4953 49965 -4966 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
244 3 -2.473 -453 454 465 -466 471 -473 #9244 imp:n=1 imp:p=1
9244 23 -0.93 -49953 4954 49965 -4966 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 3 baris 4 ----- y berubah
333 3 -2.473 -452 453 468 -465 -474 473 #9333 imp:n=1 imp:p=1
9333 23 -0.93 -49952 4953 -4965 4968 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
334 3 -2.473 -453 454 468 -465 -474 473 #9334 imp:n=1 imp:p=1
9334 23 -0.93 -49953 4954 -4965 4968 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
c ----- lantai 3 baris 5 ----- y berubah
343 3 -2.473 -452 453 465 -466 -474 473 #9343 imp:n=1 imp:p=1
9343 23 -0.93 -49952 4953 49965 -4966 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
344 3 -2.473 -453 454 465 -466 -474 473 #9344 imp:n=1 imp:p=1
9344 23 -0.93 -49953 4954 49965 -4966 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
c -----
c 601 3 -2.473 -452 453 466 -467 -471 472 #9601 imp:n=1 imp:p=1
c 9601 23 -0.93 -49952 4953 49966 -4967 -4971 4972 imp:n=1 imp:p=1
602 3 -2.473 -452 453 466 -467 471 -473 #9602 imp:n=1 imp:p=1
9602 23 -0.93 -49952 4953 49966 -4967 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
603 3 -2.473 -452 453 466 -467 -474 473 #9603 imp:n=1 imp:p=1
9603 23 -0.93 -49952 4953 49966 -4967 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1
c 701 3 -2.473 -453 454 466 -467 -471 472 #9701 imp:n=1 imp:p=1
c 9701 23 -0.93 -49953 4954 49966 -4967 -4971 4972 imp:n=1 imp:p=1
702 3 -2.473 -453 454 466 -467 471 -473 #9702 imp:n=1 imp:p=1
9702 23 -0.93 -49953 4954 49966 -4967 -4973 49971 imp:n=1 imp:p=1
703 3 -2.473 -453 454 466 -467 -474 473 #9703 imp:n=1 imp:p=1
9703 23 -0.93 -49953 4954 49966 -4967 -4974 49973 imp:n=1 imp:p=1